

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Návrh a částečná realizace konvertoplánu
Design and Partial Implementation of Convertoplane

Student: Bc. Pavel Studenka
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. František Martinec, CSc.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Studenka**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2301T003 Dopravní technika a technologie**
Specializace: **40 Letecká doprava**
Téma: **Návrh a částečná realizace konvertoplánu**
Design and Partial Implementation of Convertoplane
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Analýza konstrukčního řešení UAS typu konvertoplán.
2. Návrh a výběr metody přechodu letového režimu UAS konvertoplánu s pohonem turbodmychadly.
3. Návrh a částečná realizace UAS konvertoplánu s pohonem turbodmychadly.
4. Pozemní a letové zkoušky prototypu UAS konvertoplánu.

Seznam doporučené odborné literatury:

Studenka, P.: Návrh UAV s kolmým startem typu křídlo. Bakalářská práce. Ostrava: VŠB-TU Ostrava. 2013.
Slavětinský, D.: Stavba letadel. <http://www.slavetind.cz/Default.aspx>
<http://www.uav.estranky.cz/clanky/autor--s-texts---autorovy-prispevky/zamysleni-nad-uplatnenim-uav-v-bezpecnostni-praxi.html>.
http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle.
http://technet.idnes.cz/vojensky-technicky-ustav-vyvinul-bezpilotni-letouny-optoelektron-a-sokol-1uk-vojenstvi.aspx?c=A120529_162619_vojenstvi_kuz.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. František Martinec, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



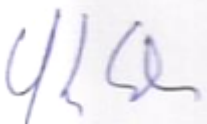
doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 11. 5. 2013

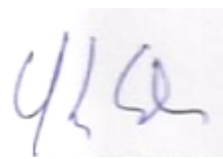


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 11.5.2016



.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Pavel Studenka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Horní náměstí 821,
Slavičín 76321

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych velmi poděkovat svému vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Františkovi Martincovi, CSc. za ochotu a pomoc při tvorbě diplomové práce a také za jeho odborný dohled. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Erikovi Solařovi za konzultace při realizaci prototypu konvertoplánu. Rád bych chtěl poděkovat panu Tomáši Brejžkovi za ochotu a vyřezání perfektních výřezů jednotlivých dílů křídla, panu Milanovi Holbovi za vyrobení přesných dílů nosníkového kloubu a panu Radimovi Stibůrkovi za návrh a vyrobení překližkových dílů přípravku pro nastavení stabilizační desky.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

STUDENKA, P. Návrh a částečná realizace konvertováván: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Ústav letecké dopravy, 2016. Vedoucí práce: Martinec, F.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem bezpilotního prostředku v konstrukčním řešení typu konvertoplán. První část diplomové práce se zabývá zhrnutím seznámení s bezpilotními prostředky, typy konstrukčního řešení a možnostmi jejich využití. Dále následuje připomenutí výsledků bakalářské práce, na kterou tato diplomová práce navazuje. Pak práce přechází na návrh bezpilotního prostředku v konstrukci konvertoplánu, výběrem druhu pohonu a následnou realizací, popisem postupu sestavení prototypu bezpilotního prostředku založeného na konstrukci konvertoplánu. Závěr práce je zaměřen na informace týkající se tzv. „oživení“ prototypu a zhodnocení dosažených výsledků.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

STUDENKA, P. DESIGN AND PARTIAL IMPLEMENTATION CONVERTING: THESIS. OSTRAVA: VSB - TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA, FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING, Department of Air Transport, 2016. Thesis head: MARTINEC, F.

This diploma thesis describes design of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in construction type convertiplane. First part of thesis presents high level introduction to UAV, types of design solutions and possibilities of their utilization. It is followed by the summary of the results from the bachelor thesis that was used as a base for this thesis. Furthermore, the thesis deals with the draft of UAV in construction type convertiplane, choice of drive and subsequent implementation, description of the building process of UAV prototype based on construction type convertiplane. The final part of thesis is focused on information related to the so called “bringing prototype to life” and evaluating the results of thesis.

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
Úvod	10
Cíl práce	11
1. Typy konstrukčního řešení bezpilotních prostředků	12
1.1 Vrtulníková koncepce	12
1.2 Letounová koncepce	13
1.3 Více rotorová koncepce - Multicoptéry	15
1.4 Raketová koncepce	16
1.5 VTOL	16
2. Shrnutí výsledků bakalářské práce	17
2.1 Prototyp Fresh I	17
2.2 Prototyp Fresh II	18
3. Návrh bezpilotního prostředku typu konvertoplán	20
3.1 Koncepce UAV konvertoplánu	20
3.1.1 Materiál konvertoplánu	22
3.1.2 Profil křídla konvertoplánu	23
3.1.3 Plocha	24
3.1.4 Úhel šípů	25
3.1.5 Plošné zatížení	26
3.1.6 Těžiště	27
3.2 Pohon	28
3.2.1 Akumulátor	30
3.2.2 Dmychadla 80	31
3.2.3 Dmychadla EDF 70	33
3.2.4 Vrtulový pohon	34
3.2.5 Vyhodnocení pohonu	36
3.3 Ovládání	37

3.3.1 Vysílač Turnigy 9X.....	37
3.3.2 Stabilizační deska	38
3.4 Použité komponenty ke stavbě a odhad hmotnosti UAV	40
4. Stavba prototypu bezpilotního prostředku.....	43
4.1 Stavba střední části	43
4.2 Stavba křídla.....	45
4.3 Kompletace a úpravy	46
4.4 Zabudování řídicí elektroniky	47
5 Nastavení prototypu bezpilotního prostředku.....	48
5.1 Nastavení stabilizační desky	48
5.2 Nastavení prototypu UAV konvertoplánu	50
6 Vyhodnocení navrhnuté koncepce - letové zkoušky.....	51
6.1 První fáze letových zkoušek.....	52
6.2 Druhá fáze letových zkoušek	53
6.3 Třetí fáze letových zkoušek	55
6.4 Vyhodnocení	56
7 Kalkulace použitých komponentů.....	57
8 Závěr	58
Literatura.....	60
Seznam obrázků	61
Seznam tabulek	63
Seznam příloh	64

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický název	Český název/význam
UAV	Unmanned Aerial Vehicles	Bezpilotní létající prostředek
UAS	Unmanned Aerial System	Bezpilotní systém
VTOL	Vertical Take-off and Landing	Vertikální vzlet i přistání
Li-pol	Lithium polymer	Lithium polymerová
EDF	Electric Ducted Fan	Elektrické dmychadlo
EPP		Extrudovaný polypropylen
MH 62		Typ profilu
BEC	Battery Eliminating Circuit	Okruh eliminující baterie
CG	Center of Gravity	Těžiště letadla

Úvod

V dnešní době se můžeme setkat se všemi možnými člověkem vynalezenými koncepcemi létajících zařízení. Od prvního průlomu, samotných počátků letectví kdy byl vypuštěn první horkovzdušný balón a bratři Wrightovi uskutečnili první řízený let, první přelet oceánu. Kvůli světovým válkám nastaly obrovské pokroky v konstrukcích letecké techniky, byly vyvinuté nové materiály, hmotnostně úspornější, pevnostně vyspělejší. Vyvinuly se různé druhy pohonných jednotek, zdokonalily se pístové motory, byly vyvinuty proudové motory, pulzační, náporové i raketové.

Co se týká koncepčního uspořádání konstrukce letounů, tak jsou to koncepce s pevnými nosnými plochami (kluzáky, letadla), s rotujícími nosnými plochami (vrtulník, virník), bez nosných ploch (rakety). Vše je v dnešní době na velmi vysoké úrovni. Dopravní letouny jsou poháněny nejúspornějšími proudovými motory, letouny jsou aerodynamicky čistější, vyšší cestovní rychlosti, nosné raketové články jsou dnes schopny více násobného použití, jelikož jsou schopny bezpečně přistát na určené místo. Svět techniky a strojů jde každým dnem kupředu. To platí i ve světě bezpilotních létajících prostředků. Ty lze rozdělit do dvou skupin pod zkratkami UAV a AUS. UAV je skupina bezpilotních prostředků řízených operátorem, pilotem z pozemní stanice, případně na krátké vzdálenosti pomocí rádiového vysílače a vizuálním dohledem. UAS je skupina bezpilotních autonomních prostředků, které vykonávají zadané, předem naprogramované úkoly. Let probíhá automaticky kdy pilot, přesněji řečeno operátor, provádí jen úpravy letového plánu.

Vzhledem k názvu diplomové práce je třeba se zmínit o skupině létajících prostředků pod zkratkou VTOL (vertical take-off and landing), zkratka označuje letadla, která mohou startovat a přistávat vertikálně. Jedná se o konvertoplány. Mezi ně se však nezapočítávají balóny, vzducholodě a vrtulníky. Ještě nedávno by se dalo říct, že do této skupiny nebudou patřit rakety, ale díky společnostem SpaceX a jejich projektu Falcon 9 rakety do skupiny VTOL patří, v roce 2016 úspěšně odstartovala raketa Falcon 9. Ta vynesla do vesmíru satelitní zařízení a po odpojení satelitu, zjednodušeně řečeno, opět kolmo přistála na určenou plošinu.

Cíl práce

Tato diplomová práce navazuje na bakalářskou práci obhajovanou v červnu roku 2013. Ta se zabývala návrhnutím bezpilotního létajícího prostředku typu samokřídla s možností kolmého startu. Hlavním konstrukčním problémem byl vybraný pohon samotného bezpilotního prostředku. Dmychadlový pohon je poměrně rozběhnutá pasáž ve světě rádiem řízených modelů, kde si nadšenci tímto realizují sny sestrojít si a pilotovat vlastní maketu oblíbeného stíhacího letounu. Avšak tento typ pohonu je jen zřídka k vidění při použití ke kolmému startu, kdy nejsou využívány nosné plochy létajícího zařízení, a tak veškerou váhu létajícího zařízení je takový pohon dmychadlem nucen vynést do požadované výšky, případně umožnit opětovné přistání v co nejmenším možném prostoru.

Na základě bakalářské práce jsme si ověřili, že toto konstrukční řešení je reálné a každým dnem se objevují nové a nové technické pomůcky, nové myšlenky se stávají realizovatelné, kapacitní uložení energie se navyšuje, účinnost elektronických i elektrických zařízení se zvyšuje, jejich spotřeba se snižuje. Snižuje se také hmotnost novějších konstrukcí a použitím nových materiálů. To vše přispívá ke tvorbě nových věcí, nových zařízení, nových složitých systémů a nejvíce tyto oblasti podporují minimalizaci hmotnosti, miniaturizaci a možnosti uchovávat čím dál větší množství elektrické energie v bateriích, právě v oblasti bezpilotních prostředků. A to mě dovedlo k myšlence, proč by nebylo možné pohánět bezpilotní prostředek dvěma dmychadly? Na světě už byli k vidění létající zařízení typu samokřídlo poháněné dmychadlem, nicméně dmychadlo bylo využíváno výhradně k nastoupaní do požadované výšky a udržení se v letové hladině. Ale proč by se nemohla použít dmychadla v páru a proč by díky získanému dalšímu výkonu, proč by nemohlo takové létající zařízení být schopno odstartovat ve stylu vrtulníku či x-coptérových dronů?

Ve výzkumu v bakalářské práci jsme si potvrdili, že je tato koncepce možná. Proto cílem této diplomové práce bude dotáhnout původní myšlenku bakalářské práce do konce a vzniklé dva prototypy spojit v jeden funkční prototyp.

1. Typy konstrukčního řešení bezpilotních prostředků

Rozdělme si bezpilotní prostředky do pěti základních skupin, a to vzhledem ke koncepčnímu řešení konstrukce vztahované hlavně k letecké technice, protože se od ní stavba bezpilotních prostředků dost přebírá. Když si připomeneme, co bylo příčinou jejich vzniku, možnost být nasazen v boji, ale nevystavit pilota nebezpečí. Bylo proto snahou přizpůsobit známé osvědčené konstrukce ve válkách k pilotování z pozemního střediska. Tím je možnost ochrany pilotů operátorů, před možným sestřelením, přeci jenom život je to, co má na světě nevyčíslitelnou hodnotu.

Zamysleme se, k čemu všemu by se dali bezpilotní prostředky využít? Ihned nás začnou napadat další a další možnosti využití, u armády je to především vzdušná podpora pozemních jednotek, které se dostanou do nebezpečné situace s nepřítelem, samozřejmě především jejich role je ale ve sledování nepřítele k průzkumu. U záchranných složek se nám vybaví možnost hledání ztracených, pohřešovaných lidí, hledání ztroskotaných lodí, zjišťování rozsahu požárů, pomoc záchrany uvíznutých lidí při povodních atd. Policie je může využívat k pátrání po pohřešovaných nebo nebezpečných osobách. Když vezmeme v potaz, co nám nabízejí koncepce multicopterů, můžeme jen očekávat, kdy budou nasazeny i ke zneškodnění nebezpečného útočníka pomocí taserové zbraně umístěné přímo na jeho konstrukci. V běžném životě nám můžou sloužit k pořizování netradičních snímků nebo ke zjišťování stavu ovzduší ve velkoměstech. Docela se bezpilotní prostředky rozšířily i ve stavebnictví, výhradně ke kontrole tepelné izolace.

Tyto zběžné důvody nám dají představu o tom, jakou konstrukci bezpilotního prostředku si zvolit, je třeba si uvědomit, na jaký typ úkonu bude použit nebo používán.

1.1 Vrtulníková koncepce

Vrtulníkové koncepce mají jednu obrovskou výhodu. Oproti letounovým a raketovým koncepcím je možnost výdrže setrvat na jednom místě, určené výšce a v požadovaném zeměpisném bodě mohou nenápadně sledovat protivníka. Jejich nevýhodou je omezená nosnost vybavení, maximální letová rychlost, která se projeví při nutnosti se co nejdříve přesunout z místa A do místa B.



Obrázek 1 Stroj armády USA A160T Hummingbird

Tyto koncepce můžou nést na palubě různé zbraňové systémy, špičkovou zaměřovací a kamerovou techniku, komunikační systémy. Vybavení pro hašení požárů v krajině, záchranné prostředky jako předvoj záchranných jednotek pracujících na moři.

1.2 Letounová koncepce

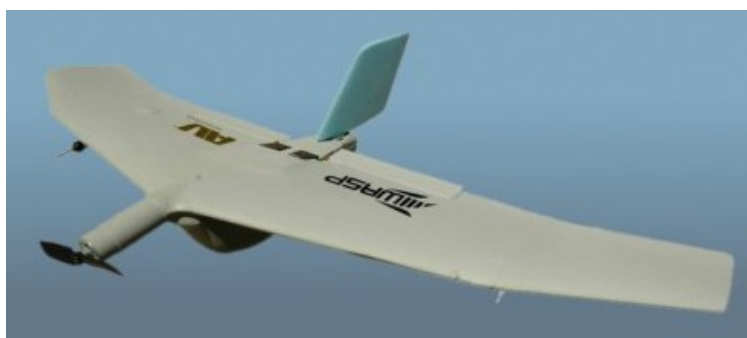
Do této kategorie zapadají bezpilotní prostředky podobající se svou konstrukcí samotným letounům, jejich hlavním znakem jsou pevné nosné plochy. Jsou poháněny buď pomocí elektromotorů, spalovacím motorem nebo v případě armádní špičky mezi bezpilotními letouny pohonnou soustavou, totožnou s člověkem pilotovanými letouny, která také vyrábí a dodává energii celému UAV. V takových případech se ve většině jedná spíše o autonomní systémy neboli UAS.

Letounové koncepce bezpilotních zařízení umožňují nést značné množství vybavení na palubě oproti vrtulníkovým koncepcím. Díky pevným nosným plochám, vhodným aerodynamickým návrhem, výběrem nosného profilu takový UAV získává možnost využití tzv. plachtění. Pohonná jednotka nemusí vynakládat vysoké výkony a tím se sníží provozní náklady. Výrazně se nízká spotřeba pohonné energie podílí na délce výdrže bezpilotního prostředku ve vzduchu. Tím se dá zvládnout získat mnohem větší množství potřebných informací, kvůli kterým byl nasazen. Nevýhodou této koncepce, je nutnost startovací plochy nebo startovacího zařízení, které tyto bezpilotní prostředky vynese nebo jim umožní odstartovat.

Typy používaných konstrukcí:



Obrázek 2 Vlečený terč KT-04 (kluzák)



Obrázek 3 miniaturní UAV WASP III (samokřídlo)



Obrázek 4 průzkumný UAV RQ-11 Raven (klasická koncepce)



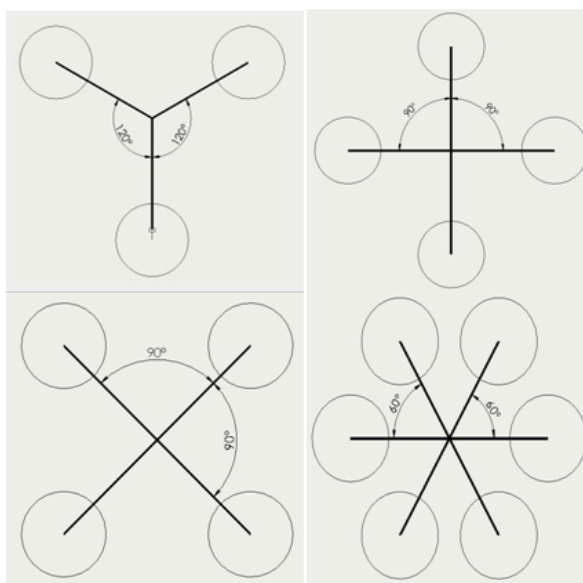
Obrázek 5 UAS Global Hawk - největší bezpilotní prostředek

1.3 Více rotorová koncepce - Multicoptéry

Tato kategorie je v dnešní době tou nejrozšířenější částí bezpilotních prostředků zmiňovaných taky pod názvem drony. Jejich nasazení díky jednoduchosti konstrukce a malým rozměrům je poměrně neomezené, hodí se pro spousty leteckých prací, kam byste poslali bezpilotní prostředek. Na jeho nosný rám se dá upevnit téměř jakékoliv zařízení. Běžně však slouží k pořizování fotodokumentace a videonahrávek, jak pro filmaře, tak pro policisty, armádu i záchranáře.

Jejich konstrukce se skládá z nosného rámu, elektromotorů, které přímo pohání vrtuli, a řídicí elektroniky. Pro tvar multicoptér jsou charakteristická ramena, na každém rameni je připevněn jeden motor, který pohání vrtuli s určitým směrem otáčení, díky němuž se řídí samotný let multicoptéru.

Menším nedostatkem jsou baterie, i když dnes jsou používány Li-pol baterie na docela vysoké úrovni, ale i tak jsou schopny multicoptéry vydržet poměrně malou dobu oproti ostatním koncepcím. Velkou výhodou je jejich poměrně snadná pilotáž. S většinou nedostatků, jimiž jsou myšleny náhlé poryvy větru, ztráta signálu nebo příliš velké vzdálení se z dohledu, si poradí instalovaná elektronika, eliminuje vliv povětrnostních podmínek, v případě ztráty signálu je možnost, aby se multicoptér vrátil do místa vzletu a přistál, nebo vyčkal poblíž místa, kde signál zmizel a po nastavené době sám přistál. Proto se taky rychle rozšířili mezi běžné uživatele.



Obrázek 6 příklady používaných uspořádání multicoptérů

1.4 Raketová koncepce

Do této kategorie zařadíme v poslední době hodně diskutované téma kosmických pokroků. Společnost Space Exploration Technologies Corporation je americkou technologickou společností působící v aerokosmickém průmyslu od roku 2002. Datum 8. dubna 2016 se zapsalo do dějin kosmonautiky jako den, kdy se uskutečnilo první úspěšné přistání nosné rakety Falcon 9 a to nejen na pevninu. Nosná raketa přistála na plovoucí plošinu v Tichém oceánu.



Obrázek 7 Úspěšné přistání nosné rakety Falcon 9 na plovoucí plošině

1.5 VTOL

VTOL je anglický název pro leteckou techniku schopnou startovat z místa kolmo vzhůru, a tak i schopnost řízeného kolmého přistání, přesný název zní Vertical Take-off and Landing. V české terminologii se jedná o konvertoplány. Mezi ně patří například známý letoun V-22 Osprey anebo stíhací letoun AV-8B Harrier II.



Obrázek 8 Bell Boeing V-22 Osprey

Tato kategorie je v bezpilotním světě čím dál více oblíbenou. Obsahuje hodně výzev, ať už konstrukčních, tak i těch složitějšího elektronického řízení. V následujících kapitolách se budeme zabývat návrhem bezpilotního prostředku této kategorie konvertoplánu.

2. Shrnutí výsledků bakalářské práce

V bakalářské práci jsme se snažili odpovědět si na otázku, zda-li bude schopno samokřídlo odstartovat jako VTOL, když bude poháněno modelářskými dmychadly. Tento typ, samokřídlo, bylo bráno čistě ze zvědavosti. Především nás zajímalo, jestli se vůbec podaří sestrojít funkční prototyp. Vzhledem k náročnosti sestrojení i vyhledání jednotlivých použitelných a hlavně finančně dostupných komponentů se podařilo sestrojít dva prototypy pod názvem Fresh 1 a Fresh II.

2.1 Prototyp Fresh I

Tento prototyp byl sestrojen za účelem zkoumání letových vlastností. Po sestavení, vyvážení podle vypočteného těžiště, přišlo na první let. Bylo to poměrně psychicky náročné, když přišel tento čas prvního letu. Prototyp byl ručně hosen a nejevil poměrně žádné reakce na pilotování. Po nabrání dostatečné rychlosti se začali projevovat pilotovy povely a prototyp začal opisovat první okruh. Bylo zapotřebí prototyp letově dovážít pomocí elektronických trimů na vysílači. Bylo zapotřebí experimentálně vyhledat přesné optimální těžiště posuvem Li-pol baterie. Použitá byla Li-pol baterie o kapacitě 3000 mAh a třech článcích, uvedené pracovní napětí 11,1 V. Pohánělo dmychadlo o průměru 80 mm, které dokáže při pěti článkové li-pol baterii vyvinout tah přes 1,3 kg. S použitou baterií generovalo dmychadlo tah kolem 0,6 kg a i s tím to výkonem dosahoval prototyp rychlosti přes 90 km/h. Změření rychlosti bylo pomocí GPS lokátoru.

Letové vlastnosti byly více než překvapivé. Prototyp při nízké rychlosti neměl snahu padat do vývrtky, ani při propadu nepadal po křídle. Po stáhnutí plynu se ukázalo, že vzhledem ke své vyšší hmotnosti byla klouzavost více než úctyhodná. Odhadnout trajektorii na přistání byl oříšek.



Obrázek 9 První přistání prototypu Fresh I

Nevýhoda prvního prototypu byla v ovladatelnosti za silnějšího větru. Velký nedostatek pohonné jednotky umístěné na zadní části trupu se prototypu stala osudnou. Při letu za silnějších povětrnostních podmínek dmychadlo nestačilo prototyp tlačit ve směru letu i po směru větru a došlo ke sfouknutí prototypu až do rozoraného pole. I toto je jeden z důvodů změny v konstrukci UAV konvertoplánu, kdy jsou dmychadla umístěna v oblasti těžiště.



Obrázek 10 Nehoda při letu po větru.

2.2 Prototyp Fresh II

Na druhém zhotoveném prototypu byla zkoumána zásadní problematika týkající se kolmého startu. Prototyp byl vybaven párem stejných dmychadel průměru 80 mm, pomocí dvou modelářských servopohonů bylo ovládáno naklápění dmychadel. Tím se měnil vektor tahu. Do prototypu byla zakoupěna cenově nejdostupnější stabilizační deska se třemi gyry, které vyhodnocovaly reakční momenty za letu. V období tvorby bakalářské práce koncepce dvoumotorový dronů ještě nebyla tak rozšířená, nicméně

byly na internetu softwary pro přepsání řídicího programu na stabilizační desce pro dvou motorovou koncepci.

Prototyp se podařilo vyladit do stavu, kdy byl za bezvětřného počasí stabilně řízen ve všech směrech jako vrtulník. Při letu v povětrnostních podmínkách docházelo k rozkmitání prototypu a ztrátě výšky, následným neřízeným přistáním a poškozením prototypu.



Obrázek 11 Prototyp Fresh II v letu

Je třeba si uvědomit základní myšlenku konvertoplánu, moci odstartovat z jednoho místa jako vrtulník a mít ani možnost přistát jako vrtulník. Proto nemůžeme brát ovladatelnost i při mírných povětrnostních podmínkách jako omezující. Úkolem této koncepce je vynést prototyp do bezpečné výšky, kde dojde k přechodu na horizontální let, a toho by měl být prototyp Fresh II schopen. Jeho nedostatkem byla letová hmotnost, i když výkonu měl dostatek. Ideálně by bylo třeba se snažit snížit hodnotu plošného zatížení na co nejmenší možnou. Po prohledání modelářského sortimentu byly nalezeny účinnější dmychadla o menších rozměrech, menším pracovním napětí a řibližně stejném generovaném tahu. [1]



Obrázek 12 Prototyp Fresh II s vysílačem Optic 6

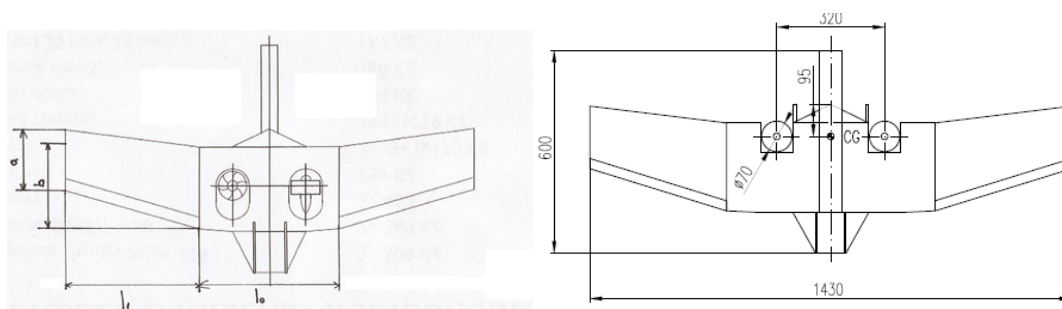
Fresh II byl schopen se pohybovat také jako vrtulník, pomocí vektorování dmychadel se letový projev jevil jako létající tank. Není to bráno jako nedostatek ale jako úspěch, že byl prototyp ve visu ovladatelný.

3. Návrh bezpilotního prostředku typu konvertoplán

V této kapitole se zaměříme na konstrukční řešení UAV konvertoplánu, možné úpravy od prototypů v bakalářské práci, návrh stavebního materiálu, budeme se věnovat problematice pohonu, změny v použitém ovládání a elektronickém zapojení prototypu.

3.1 Koncepce UAV konvertoplánu

Návrh prototypu bude třeba tvarově pozměnit oproti prototypům z bakalářské práce. Zvolený profil zůstane stejný, jeho vlastnosti se jeví jako vynikající. Prototyp Fresh I prokazoval příjemné letové vlastnosti, úctyhodnou klouzavost. Řídící kormidla se osvědčily jako dostatečné, prototyp byl lehce ovladatelný s adekvátní odezvou na příkazy pilota. Můžeme říct, že v této práci dojde ke spojení obou výše zmíněných prototypů Fresh I a Fresh II v jeden prototyp jako UAV konvertoplán. [1]



Obrázek 13 porovnání změny v koncepci z bakalářské práce a diplomové práce

První věc, která se musí promyslet je těžiště prototypů. U prvního prototypu je těžiště vypočteno pomocí vykreslovacího programu, nachází se poblíž náběžné hrany křídla. Druhý prototyp Fresh II má těžiště jednoznačné, v ose naklápění dmychadel. Taky bylo zjištěno, že stabilizaci při tzv. vysu dost napomáhá umístění těžiště „pod křídlo“.

V případném spojení zmíněných dvou prototypů nastává problém, s jednoznačným řešením. Optimální stav je, když prototyp UAV konvertoplánu bude mít jen jedno těžiště jak pro kolmý start, tak pro horizontální let. Je možnost Prototyp Fresh II vybavit funkčními křídly, pak by se muselo těžiště nějakým mechanickým způsobem přesouvat.

Jedna z možností je posun největšího břemene, které bude mít prototyp na palubě, a tím je Li-pol baterie.

Dále je třeba snížit plošné zatížení, Fresh II byl vybaven dmychadly o průměru 80 mm, aby dmychadla generovali maximální tah, bylo třeba je napájet Li-pol baterií s pěti články. Je tedy třeba pokusit se najít účinnější pohonnou jednotku, která bude schopna prototyp pohánět s podobným výkonem menšími rozměry a s menším provozním napětím. Tím se sníží hmotnost na použitých komponentech. Další způsob jak snížit plošné zatížení, je zvětšení nosné plochy. Křídla prototypů se skládají z totožného počtu vyřezaných EPP dílů. Umístěním pohonných jednotek mezi dva díly křídla vznikne za dmychadlem další užitečná plocha, která se musí započítat k celkové ploše křídla [1]

Dlouhou dobu bylo přemýšleno, jak vyřešit co nejjednodušším způsobem samotný přechod letového režimu. V případě spojení konstrukčního řešení prototypu Fresh I a Fresh II by znamenalo poměrně složitou věc týkající se přenastavení těžiště konečného prototypu. Jediná možnost, která by účinně a jednoduše pomohla změnit těžiště, je samotná baterie, protože díky její hmotnosti by se těžiště upravovalo na poměrně malém posuvu polohy samotné baterie. Bylo uvažováno baterii využít i k usnadnění stabilizace při vzletovém režimu, svěsit baterii na výklopném rámu. To by však vyžadovalo pevnostní zásah do konstrukce prototypu, tím by se zbytečně navýšila hmotnost. A čím větší hmotnost prostředku, tím kratší doba letu, nebo-li vyšší spotřeba energie a taky výše zmíněné plošné zatížení.

Z toho důvodu byly pohonné jednotky posunuty do těžiště modelu. Při stavbě může snadno dojít k nepřesnosti rozložení váhy a může se ve výsledku docela hodit, když bude malá korekce těžiště slabým posuvem baterie možná i za letu, kdy baterie bude přichycena pomocí suchého zipu na posuvné základně. Tou bude možnost pomocí servomechanismu zasahovat do přesnějšího nastavení těžiště, a tím se zjednoduší ovladatelnost UAV konvertoplánu.

Ovládání vektorování dmychadel bude nejsnadnější přímým napojením os uložení na modelářské servopohony, tím se využije plný pracovní rozsah servopohonu, ale bude nutné více zasahovat do konstrukce.



Obrázek 14 Závěsy pro vektorování dmýchadla

UAV konvertoplán bude při horizontálním letu ovládán pohyblivými klapkami, které fungují jako křídélka a výškové kormidlo současně, každé ovládané jedním mikroservem. Klapky budou zhotoveny z balzových polotovarů odtokové hrany. Není třeba je vyztužovat, jen se přilepí na požadované místo přes tři kusy ohebných pantů a upevní se páka pro propojení se servopohonem.

3.1.1 Materiál konvertoplánu

Extrudovaný polypropylén

Jedná se o všeobecně známý a rozšířený stavební materiál, používán modeláři po celém světě. A to díky jeho odolným a lehce opravitelným vlastnostem. Deskový polotovar je jakoby “gumový”, po smáčknutí se vrací do původního tvaru. Při rozlomení jednotlivé části do sebe zapadají a po slepení se slepené místo jeví jako téměř bez poškození. [1]

Výhody: Je to lehký, pružný a ohebný materiál. Běžná lepidla včetně sekundového jej neleptají. Modely není nutno potahovat, a díky drsnému povrchu mají velmi příjemné letové vlastnosti.

Nevýhody: Teplem dilatuje a deformuje se, špatně se brousí a je oproti běžnému pěnovému polystyrenu asi deseti násobně dražší.

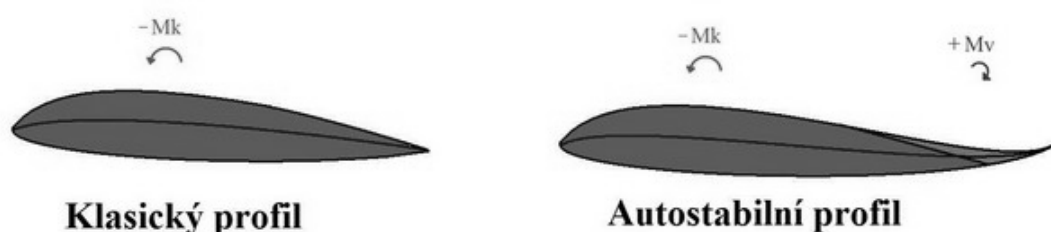
Práce s EPP: Ideálně pomocí lámacího nože, jehož podmínkou je dokonalé ostří. Vypalování drážek trafo-pájkou. Na lepení jednotlivých dílů se mohou použít téměř jakákoliv dnes dostupná lepidla např. styrolep, uhupor, chemoprén, Purex, Soundal 66A. Ideální je však vteřinové lepidlo, u kterého je možnost s použitím aktivátorů, které po aplikaci na lepenou plochu urychlí tuhnutí vteřinového lepidla, to zasychá téměř okamžitě. Pro barevnou úpravu povrchu je možné použít různé laky např. i autospreje.

Měrná hmotnost EPP je 15 - 25g/dm³.

3.1.2 Profil křídla konvertoplánu

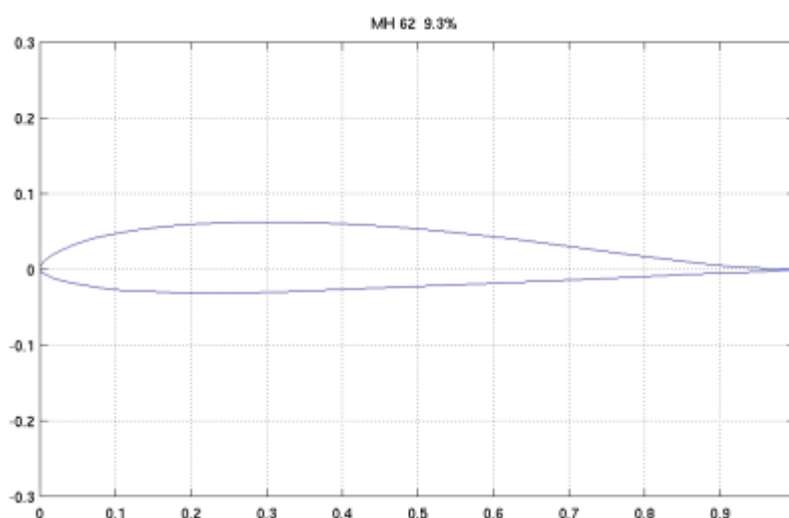
Jedním z důležitých znaků samokřidel je použití speciálních typů profilů výhradně jenom pro samokřídla, a to jsou autostabilní profily. Z důvodu rozdílného proudění vzduchu kolem křídla, vzniká ve všech řezech křídla v oblasti střední aerodynamické tětiny kladný moment a má na bezocasé létající zařízení překlápěcí účinek. Ten je potřeba nějakým způsobem kompenzovat. Proto byl navrhnout tzv. autostabilní profil.

Rozdíl mezi obyčejným, běžně konstruktéry používaným klasickým profilem a autostabilním profilem určeným výhradně pro bezocasá létající zařízení, je znázorněn na obrázku č. 15. Odtoková hrana profilu je viditelně zahnutá směrem nahoru. Tato úprava je výborným řešením, které při správném výběru z velkého množství dostupných profilů a správném určení těžiště zaručuje stabilitu při jakékoliv rychlosti.



Obrázek 15 Rozdíl použitých profilů

Na obrázku č. 16 je konkrétní profil MH 62, který byl vybrán jako vhodný pro daný typ bezpilotního prostředku. [13]

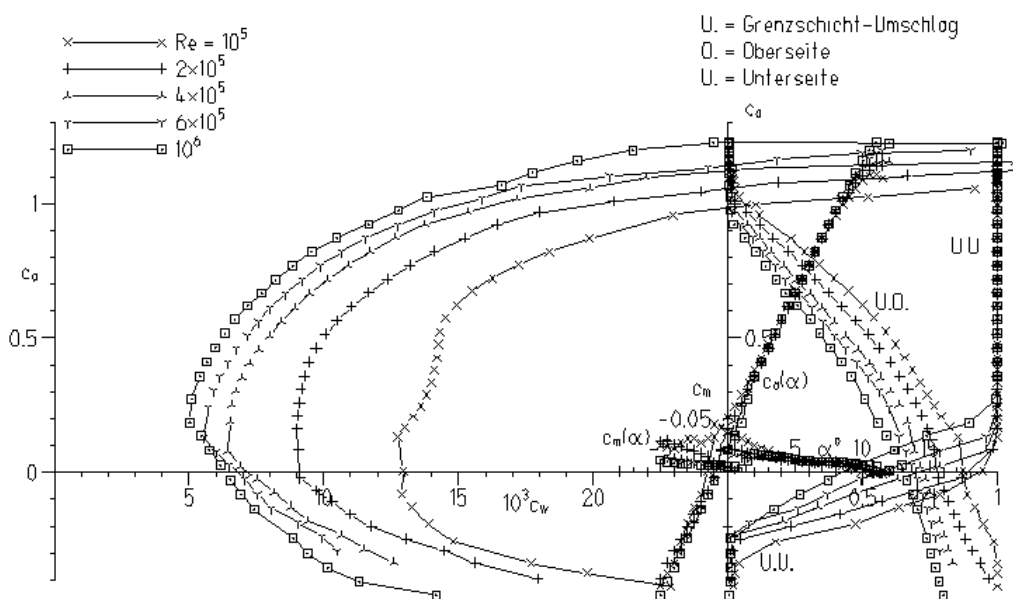


Obrázek 16 Použitý profil křídla MH 62

Charakteristika profilu MH 62:

- Tloušťka: 9.30%
- Poměrně vysoký maximální zdvih koeficient.
- Nízký moment koeficient $c_m / c_l = -0,004$.
- Může být použit na Reynoldsova čísla na 150'000 a výše.

Vypočtené poláry jsou již k dispozici na německých stránkách <http://www.mh-aerotoools.de> odkud jsou uvedeny charakteristiky a vypočtené poláry, ke kterým se vztahuje obrázek č. 17.



Obrázek 17 Vypočtené poláry profilu MH 62 [13]

3.1.3 Plocha

Výpočet plochy křídla se dá vypočítat velice jednoduše pomocí kreslicího programu nebo složením jednoduchých matematických vzorců pro výpočet obsahů jednotlivých plošných obrazců. Je zbytečné přepočítávat celý výpočet plochy prototypu, když byly v předchozí bakalářské práci vypočteny a plocha prototypu UAV konvertoplnánu je téměř totožná. [8] Liší se pouze v umístění pohonných jednotek. Tím je potřeba do vzorce přidat vzniklé plochy a početní vzorec bude vypadat následovně:

$$S = l_0 \times b + (a + b) \times l_1 + (c \times d) \times 2$$

$$S = 400 \times 245 + (180 + 245) \times 410 + (98 \times 290) \times 2$$

$$S = 32,9 \text{ dm}^2$$

l_0 – rozměr středové části křídla ($l_0 = 400\text{mm}$)

l_1 – rozměr koncové části křídla ($l_1 = 410 \text{ mm}$)

a – hloubka křídla na konci ($a = 180 \text{ mm}$)

b – hloubka křídla u kořene ($b = 245 \text{ mm}$)

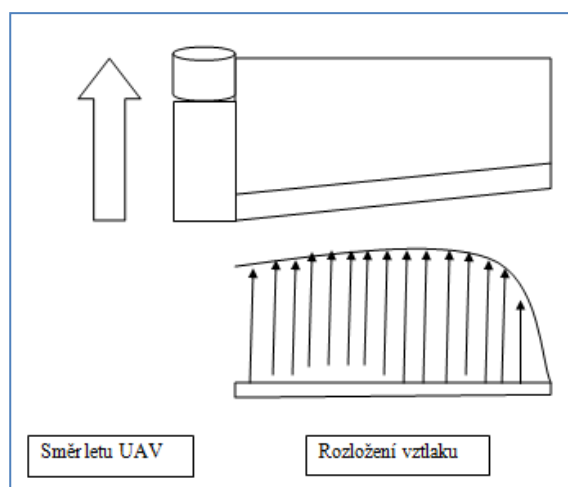
c – hloubka křídla u kořene ($c = 98 \text{ mm}$)

d – hloubka křídla u kořene ($d = 290 \text{ mm}$)

3.1.4 Úhel šípu

Z výkresu lze vidět, že na modelu je použitý mírný záporný úhel šípu. Záporný úhel je použit z důvodu letových testů prvního prototypu. Záporný úhel šípu se projevuje při nižší letové rychlosti, a to jak při přistání nebo než model nabere dostatečnou rychlost, tím, že je model stále ovladatelný. Díky zápornému šípu dochází k odtrhávání proudnic od konce křídla směrem k trupu letounu. Tím, že jsou ovládací plochy výškového kormidla a křidélek sjednoceny po celé délce křídla, stále je určitá část klapek v oblasti laminárního proudění, to umožní pilotovi stále s bezpilotním prostředkem manévrovat.

Snahou bylo, aby záporný úhel nebyl příliš velký. Vzhledem k umístění nosníků křídla byla velikost záporného šípového úhlu dána na 7° . Tato velikost se na aerodynamických a mechanických vlastnostech křídla nijak výrazně neprojeví. Projev takového šípu by byl zřetelný až v hodnotách pohybující se v rozmezí 20° – 25° . Tudíž křídlo bude mít vlastnosti podobající se lichoběžníkovému křídlu. [7]



Obrázek 18 Rozložení vztlačenosti na křídle

3.1.5 Plošné zatížení

Je další udávanou vlastností veškerých motorových, bezmotorových letounů, letadel, či bezpilotních prostředků. Abychom předběžně mohli odhadnout hmotnost prototypu UAV konvertoplánu, je třeba sečíst hmotnosti použitých komponentů, dílů prototypu, odhadnout hmotnost lepidel, potřebných výztuh a použité modelářské bižuterie.

Hrubá hmotnost prototypu (g)	
Dmychadlo+uložení + manipulační servo (2x)	342
Regulátor otáček dmychadla (2x)	81
Li-pol Akumulátor 3700 4s 14,8 V	400
Střed trupu	160
zhotovené křídlo (Levé + Pravé)	160
zatahovací mechanismus křídla	100
kabeláž	50
výztuhy, lepidla	100
případný jiný nárůst hmotnosti při stavbě	100
Celková očekávaná váha UAV konvertoplánu	1493

Tabulka 1 Hrubá hmotnost prototypu UAV konvertoplánu

Jednoduchý vzorec ukazuje závislost hmotnosti létajícího zařízení vůči ploše nosného křídla. U velkých letadel a letounů se udává v kg/m^2 , u modelů a bezpilotních prostředků se udává v g/dm^2 . Z tabulky č. 1 víme, že očekávaná hmotnost se bude pohybovat do 1500 gramů. [7]

Výpočet plošného zatížení:

$$\text{zatížení} = \frac{m}{S}$$

$$\text{zatížení} = \frac{1500}{32.9}$$

$$\text{zatížení} = 45,6 \frac{g}{dm^2}$$

Z vypočteného výsledku lze usuzovat, že bezpilotní prostředek bude poměrně rychlý, bude se pohybovat poměrně vysokou rychlostí a také bude přistávat při poměrně vysoké rychlosti. Plošné zatížení nám dává lepší odhad, jak se bude navrhnutý bezpilotní prostředek pohybovat. Čím je plošné zatížení vyšší, tím bude i vyšší minimální letová rychlost. Je třeba vzít v úvahu i fakt porывů větrů. Ty budou bezpodmínečně znesnadňovat

přesnou pilotáž, proto by se měla hodnota plošného zatížení pohybovat v přijatelné velikosti. V našem případě by mohl být výsledek pod 45 g/dm^2 . A to z důvodu, že u bezpilotního prostředku, který má pohon napájen z akumulátoru, je potřeba dosáhnout co největší výdrže ve vzduchu. Tudíž je nutnost dosáhnout nejnížší možné spotřeby, respektive plošného zatížení. Důležitost velikosti plošného zatížení se dá rozebírat mnoha způsoby, jen by stálo za připomínku, že je třeba s prototypem experimentovat a případně křídlo prodloužit či naopak zkrátit. Je třeba se zamyslet, zda-li by nebylo výhodné pro UAV konvertoplán mít hodnotu plošného zatížení vyšší, kvůli větší setrvačnosti, a tím dosáhnout menšího odběru proudu z baterií, což se by se projevilo na samotné době letu. Nebo mít hodnotu plošného zatížení menší, a tak by musel pohon pracovat o nějaké to procento více. Tím by bylo bezpilotním prostředkem za letu „házeno“ i sebemenším vánkem.

Tabulka kategorií rychlostního zaměření vzhledem k plošnému zatížení:

Kategorie létání	plošné zatížení křídla [N/m^2]
Cvičné	20 - 35
Střední pokročilé	35 - 50
Sportovní	40 - 60
Pilony	50 - 85

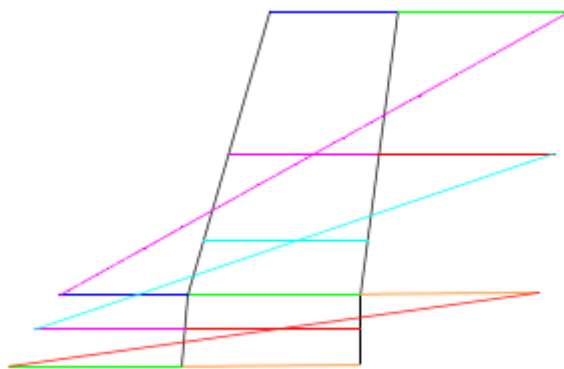
Tabulka 2 Kategorie létání vzhledem k plošnému zatížení

3.1.6 Těžiště

Správně umístěná poloha těžiště hraje důležitou roli při letových charakteristikách. Špatně zjištěné těžiště se projeví při prvním letu, který je nejnáročnější na pilotáž, není jednoduché vyrobit prototyp přesně podle výkresové dokumentace. Vždy vzniknou nějakou odlišnosti, které mohou pozměnit letové vlastnosti. Například se může stát, že při stavění křídel, při lepení výztuh vytvoří použité lepidlo v křídlové konstrukci nepatrné pnutí, tím mám na mysli mírné zkroucení křídla. To nemusí znamenat katastrofu, když se jedná a zanedbatelné zkroucení. Ale když je nepatrné, musí se na letových vlastnostech projevit. Proto by měl být zalétávací pilot připraven na případně korekce náklonu.

Správná poloha těžiště se dá vypočítat mnoha způsoby, ale díky pokrokům ve výpočetní technice a poměrně širokému výběru programů je výpočet zjednodušen a změřen kreslicím programem Autocad 2012. Dle jeho výpočtů se těžiště nachází 38 mm od náběžné hrany vnějšího výztuhového profilu uložení dmychadel. Až při samotném záletu prototypu je potřeba si těžiště experimentálně doladit na pozici, kdy prototyp reaguje na povely co nejlépe. Experimentální upřesnění správné polohy se nebude pohybovat v desítkách centimetrů ani v několika centimetrech, ale jen +/- 10 mm od programem určeného těžiště.

Starším způsobem, jak najít těžiště, je možnost jeho grafické vykreslení. Poloha těžiště se vztahuje vzhledem k aerodynamické tětivě křídla, která se nachází v 1/3 křídla. Je jednou z nejdůležitějších charakteristik křídla. (obrázek č.18)



Obrázek 19 Střední Aerodynamická Tětiva křídla

Do zjištěného těžiště bude směřováno i umístění dmychadel, aby se nemuselo řešit složité přesouvání těžiště pro kolmý start nebo horizontální let posuvem Li-pol baterie. Znamenalo by to vytvořit složitý výklopný mechanismus napájecí baterie.

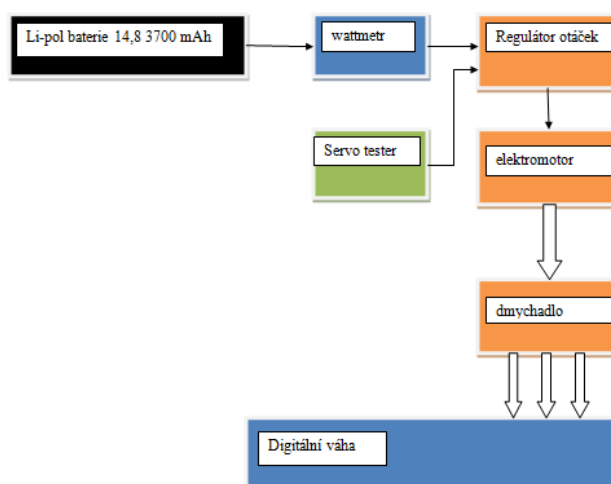
3.2 Pohon

Pro pohon prototypu budou opět použity dmychadla o průměru 70 mm. Jedná se o zahraniční produkt nabízený v internetovém portálu *ebay.eu* za přijatelnou cenu. Součástí zakoupeného produktu 70 EDF je i regulátor otáček 45A. Přesné informace o zakoupených dmychadlech s regulátory se nepodařilo dohledat.

Pomocí vyrobeného přípravku rámové konstrukce z mosazných trubiček, přilepeného gumovými přísavkami ke kuchyňské váze změříme generování tahu a pomocí zakoupeného wattmetru sestavíme grafy pro porovnání pohonu prvních dvou prototypů a posledního prototypu konvertoplánu.



Obrázek 20 Přípravek pro měření tahu dmychadla



Obrázek 21 Schéma zapojení komponentů při měření

Měření se provádí pomocí běžné kuchyňské váhy s váživostí 5 kg, na kterou je připevněn mosazný rám pomocí gumových přísavek. Do rámu je vloženo měřené dmychadlo se zapojeným regulátorem otáček. Na řídicí kabel je zapojen jednoduchý modelářský servo tester, kterým se bude měřené dmychadlo ovládat. Na napájecí kabely regulátoru se připojí měřící zařízení Watt metr Turnigy 130 A. Jedná se o měřící zařízení, které zobrazuje na displeji aktuální hodnoty odebíraného proudu, stav velikosti napětí, příkon a spotřebu.

3.2.1 Akumulátor

Pro napájení prototypu byla vybrána baterie Li-pol 4S o kapacitě 3700 mAh. Její hmotnost je udávána 420g. Může být zatěžována odběrem 45C. Což je čtyřiceti pěti násobek kapacity baterie, který nám udává maximální dovolený odběr 166,5 A. Na prototypu jsou použity dva motory s maximálním odběrem proudu 45 A plus nepatrné množství proudu odebírané servopohony se dostaneme lehce přes hodnotu odebíraného proudu z baterie 90 A při maximální zátěži. Je zřejmé, že baterie nebude výrazně prototypem zatěžována.

Značení li-pol baterií:

Např.: **Li-pol 4S; 2800mAh; 14,8V; 40C Foxy**

4S – určuje počet článků

2800 mAh – přibližná kapacita

14,8 V – jmenovité napětí

40 C – Standardní vybíjecí proud

Foxy – název výrobce

Minimální dobu letu na zvolenou baterii si vypočítáme jednoduchým výpočtem. Z naměřených hodnot známe maximální odebíraný proud oběma dmychadly 74 A. Odebíraný proud oběma dmychadly je nižší, protože napájecí Li-pol baterie není schopna dodávat při takové zátěži patřičné napětí a tím dmychadla nedosahují 100% výkonu. Kapacita čtyř článkové Li-pol baterie je 3,7 Ah. Minimální doba letu tedy bude:

$$t = \frac{I}{C} \times 60 \text{ (min.)}$$

$$t = \frac{3,7}{74} \times 60$$

$$t = 3 \text{ min.}$$

Čas 3 minuty bude za předpokladu, že prototyp letí na maximální rychlost, tzn. při plném plynu pohonných jednotek. Při horizontálním letu není zapotřebí mít nastavený plyn na maximální hodnotě. Prototyp bude schopen letět svižně i při 60% výkonu. Výkon dmychadel bude nastaven na přibližných 700 g tahu, při kterém dmychadla spotřebovávají 21,9 A. Proto si vypočteme ještě přibližný čas pracovního letu:

$$t = \frac{I}{C} \times 60 \text{ (min.)}$$

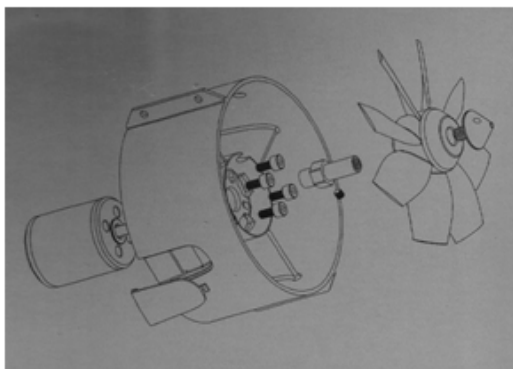
$$t = \frac{3,7}{42} \times 60$$

$$t = 5,3 \text{ min.}$$

Vypočtený odhad doby letu se nezdá být příliš dlouhý, použitá baterie byla vybrána na základě zkušeností z bakalářské práce. To neznamená, že bude jedinou použitelnou volnou použité baterie. Po prvních úspěšných letech konečného prototypu UAV konvertoplánu, bude zřejmé, jestli bude možnost vyměnit baterii za baterii s větší kapacitou.

3.2.2 Dmychadla 80

Dmychadla průměru 80 mm byly použity na prvních dvou prototypech, v době tvorby bakalářské práce se jednalo o poměrně výkonné pohonné jednotky v rámci dostupných prostředků.



Parametry uvedené výrobcem:

- 1) Vnitřní průměr 80 mm
- 2) Vhodný motor: 2839 KV2600 s rotačním pláštěm
- 3) Jmenovité napětí: 14.8 V
- 4) Jmenovitý proud: 40A
- 5) Statický tah 1100 g

Obrázek 22 Parametry dmychadla EDF 80 [1]

Výrobcem udávaná hodnota tahu 1.1 kg při napětí 14,8V avšak s použitým střídavým elektromotorem, který nebyl součástí balení dmychadla. Bylo třeba hledat alternativu mezi elektromotory, výběr byl značně omezený. Byl vybrán střídavý motor s rotačním pláštěm L2855 – 2100 EDF s parametry:



Parametry:

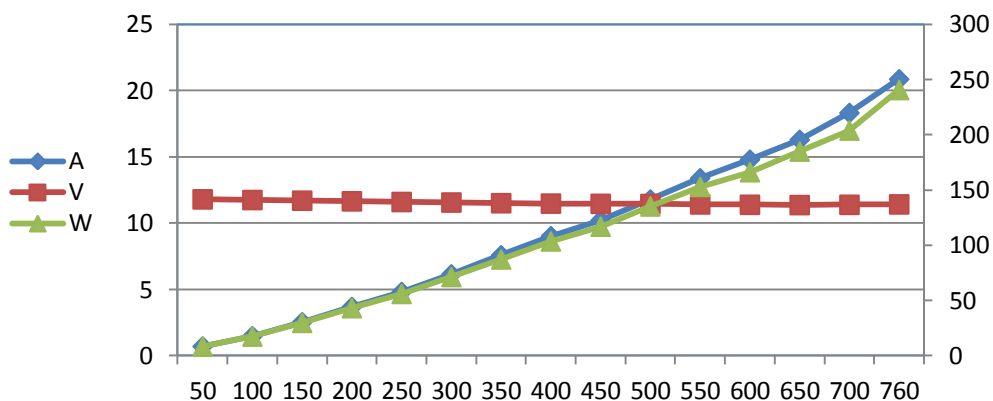
Kv:	2100 Rpm
Napětí:	22.2V (6s)
Proud naprázdno:	1,8 A
Maximální proud:	42A
Maximální výkon:	900W
Hřídel Velikost:	4 mm
Délka hřídele:	16mm
Rozměry:	34 mm x 28 mm
Hmotnost:	94 g

Obrázek 23 Střídavý elektromotor s rotačním pláštěm L2855 - 2100 EDF [1]

Měření bude probíhat od nejvyššího tahu dmychadla a následnému snižování výkonu, vzhledem ke generovanému tahu na kuchyňské váze po 50 g. Dmychadlo bude napájeno Li-pol baterií se čtyřmi články.

Dmychadlo EDF 80				
Li - pol pět článků 14,8 V				
	Tah (g)	V	A	W
1	50	15,74	1,02	16,1
2	100	15,67	2,23	35,1
3	150	15,62	3,41	53,2
4	200	15,57	4,9	76,4
5	250	15,56	6,4	99,8
6	300	15,52	8,18	127,6
7	350	15,48	10,25	157,8
8	400	15,46	12,1	188,1
9	450	15,45	13,9	214,9
10	500	15,46	16,1	247
11	550	15,46	17,5	275,5
12	600	15,43	20,1	313,1
13	650	15,42	22,1	335,9
14	700	15,4	24,4	378
15	784	15,4	28,4	438,4

Tabulka 3 naměřené hodnoty dmychadla EDF 80



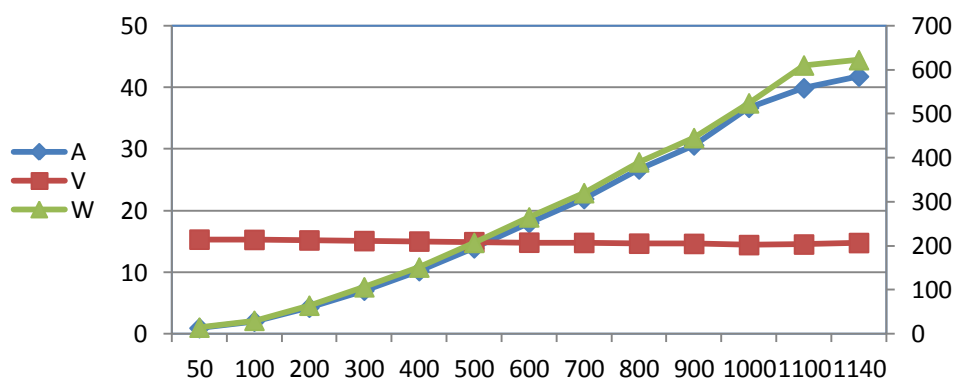
Obrázek 24 graf měření dmyhadla EDF 80

Díky tomuto měření byly zjištěny parametry použitého pohonu, dozvěděli jsme se o maximálním generovaném tahu osmdesáti milimetrového dmyhadla napájeného zvolenou Li-pol baterií se čtyřmi články o napětí 14,8 V. Zjistili jsme, že zatěžováním baterie docházelo k poklesům jejího napětí, maximální hodnota tahu se zastavila na hodnotě 784 g při maximálním odebíraném proudu 28,4 A.

Výše uvedený hrubý odhad celkové hmotnosti navrhovaného prototypu by se měl pohybovat do hranice 1500 g. S touto hmotností si dmyhadla EDF 80 při napájení čtyř článkovou Li-pol baterií neporadí. Horizontální let by možný byl, ale kolmý start je téměř vyloučený.

3.2.3 Dmyhadla EDF 70

Naměřené hodnoty při stejné baterii u dmyhadla průměru 70 mm jsou vypsány v následující tabulce č. 4.



Obrázek 25 graf měření dmyhadla EDF 70

Dmychadlo EDF 70				
Li-pol čtyř článků 14,8 V				
	Tah (g)	V	A	W
1	50	15,31	0,94	14,5
2	100	15,27	2	30
3	200	15,18	4,27	64,3
4	300	15,08	7,03	106,1
5	400	15	10,2	151
6	500	14,9	13,9	207
7	600	14,82	18	264,9
8	700	14,78	21,9	320
9	800	14,66	26,7	389,9
10	900	14,62	30,6	445
11	1000	14,43	36,7	524
12	1100	14,52	39,87	610
13	1140	14,76	41,76	622,1

Tabulka 4 Naměřené hodnoty dmychadla EDF 70

Z měření jsme zjistili hlavní parametry dmychadla EDF 70, maximální tah při zvolené Li-pol baterii 14,8 V se dostal na hodnotu 1140 g při maximálním proudovém odběru 41,76 A. Ve dvojím podání jsou dmychadla schopna generovat 2280 g maximálního tahu. To je jednoznačný přebytek výkonu nad hmotností prototypu a kolmý start bude možný.

3.2.4 Vrtulový pohon

V této části práce si proměříme podobně, použitelný vrtulový pohon. Díky možné zástavbě do konstrukce je zapotřebí vybírat elektromotory s vyšším počtem pracovních otáček, z důvodu nejmenšího možného zásahu do plochy konstrukce a možnosti většího konstrukčního vyztužení.

Výhody oproti dmychadlům:

- menší hmotnost vrtulového pohonu,
- menší odběry proudu,
- vyšší poměr příkonu k tahu vrtulového pohonu

Nevýhody oproti dmychadlům:

- průměr vrtule, větší zásah do nosné plochy křídla otvorem pro vrtuli,
- nižší proudová rychlost generovaného tahu.

K měření byl vybrán adekvátní pohon střídavým elektromotorem značky Aeolian o rozměrech 28 mm v průměru a 22 mm. Výrobce udává 1900 otáček na jeden volt a je použita vrtule k měření o rozměrech 7 x 45°. Zapojení je obdobné jako při předchozích měření.

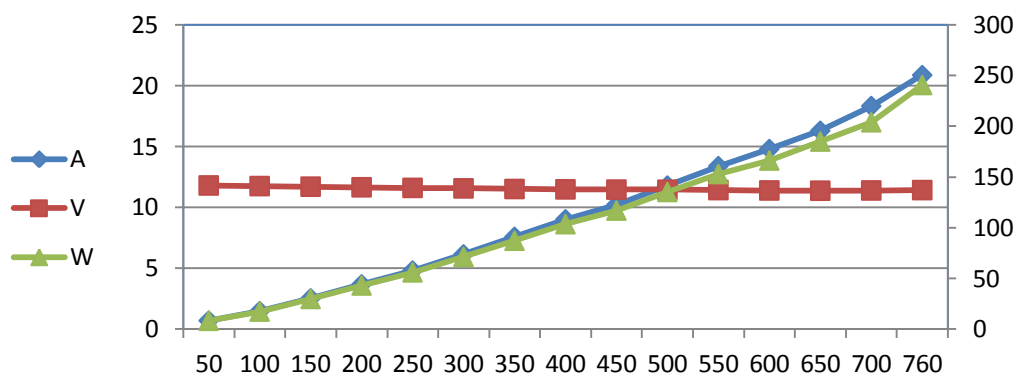


Obrázek 26 Měření adekvátního vrtulového pohonu

Naměřené hodnoty vrtulového pohonu:

Motor aeolian 1900 Rpm / V ; Li-pol 3S 11,1 V			
Vrtule 7045			
Tah (g)	Odběr (A)	Napětí (U)	Výkon (W)
50	0,71	11,81	8,4
100	1,49	11,76	17,5
150	2,54	11,71	29,9
200	3,69	11,66	43,2
250	4,82	11,61	56,1
300	6,15	11,57	71,4
350	7,59	11,52	87,3
400	9,03	11,49	103,6
450	10,23	11,47	117
500	11,8	11,46	135,3
550	13,4	11,43	153
600	14,8	11,4	166,3
650	16,3	11,38	185
700	18,33	11,4	204
760	20,87	11,43	240,7

Tabulka 5 Měření vrtulového pohonu



Obrázek 27 Graf měření vrtulového pohonu

Měřením bylo zjištěno, že je vrtulový pohon o dost odlišný ve spotřebě s EDF dmychadly při stejném výkonu, je to hlavně zapříčiněno menší li-pol baterií použitou pro měření. Jednalo se o tříčládkovou baterii kapacity 3000 mAh. Tříčládkovou proto, že provoz na větší počet článků výrobce nedoporučuje, došlo by k poškození pohonné jednotky nebo destrukci použité vrtule.

3.2.5 Vyhodnocení pohonu

Měřením se dmychadlo EDF 70 projevilo s podstatně lepšími výsledky než změřené dmychadlo EDF 80 použité v bakalářské práci. EDF 80 bylo na druhém prototypu Fresh II napájeno Li-pol baterií s pěti články, hmotnost baterie se pohybovala něco přes půl kilogramu. Tuto úsporu můžeme nahradit čtyřčládkovou baterií s vyšší kapacitou. Tím máme možnost prodloužit dobu letu, snížit plošné zatížení i rychlost navrhovaného prototypu.

Použitím vrtulového pohonu by se hmotnost prototypu dostala podstatně níže. Nebylo by zapotřebí mít na palubě bezpilotního prostředku tak výkonnou Li-pol baterii, případně by se o to prodloužila doba letu vrtulového prototypu. Samotná pohonná jednotka složená ze střídavého elektromotoru, ovládacího regulátoru a vrtule by byla menších rozměrů a v páru by se celková hmotnost rovnala jedné EDF pohonné jednotce. Budeme se držet původní myšlenky a zaměříme se na pohon dmychadly EDF 70, které nabízí dostatečný tah pro realizaci kolmého startu. Dmychadla jako taková disponují vysokou rychlostí urychleného proudu vzduchu skrze turbínu dmychadla. Tím bude prototyp schopen dosáhnout vyšší cestovní rychlosti, díky tomu může v budoucím nasazení prozkoumat širší oblast než při vrtulovém, pomalejším pohonu. A vzhledem k průměru EDF dmychadla bude do konstrukce i menší zásah při umístění v křídle.

Ukázkové srovnání měřených pohonů:

	Max. tah (g)	Odběr (A) při 700 (g)
EDF 80 - 4S	784	700 g - 24,4
EDF70 - 4S	1140	700 g - 21,9
Vrtule 70 x 45 - 3S	760	700 g- 18,3

Tabulka 6 Ukázkové srovnání měřených pohonů

3.3 Ovládání

V bakalářské práci se prototypy Freh I a Fresh II řídily pomocí počítačové soupravy značky HITEC a názvem OPTIC 6. Jednalo se o šesti-kanálový vysílač s pamětí na osm modelů pracujících s frekvenční modulací pro pásmo 35MHz. I když se jedná o velice kvalitní a spolehlivý vysílač je zapotřebí přestoupit na vysílač s frekvenční modulací pro pásmo 2,4 GHz. Při pilotování prototypu Fresh I docházelo k narušení řídicího signálu průletem rušivou oblastí a tím byli ohroženy výsledky prováděných letových testů. Z toho důvodu se přešlo na níže uvedený vysílač Turnigy 9X.

3.3.1 Vysílač Turnigy 9X

Jedná se o cenově dostupný set vysílače a přijímače s výborným dosahem (pro běžné létání více jak dostatečný - pozemní test ukázal přes tisíc metrů stabilního ovládání, dosah pro letadlo bude tedy více než 1 km. Díky technologii 2.4GHz je signál stabilní a odolný proti rušení. Přijímač a vysílač jsou spárovány unikátním digitálním ID číslem. Díky tomu se již není třeba obávat rušení signálu.



Obrázek 28 Vysílač Turnigy 9X

Technické údaje:

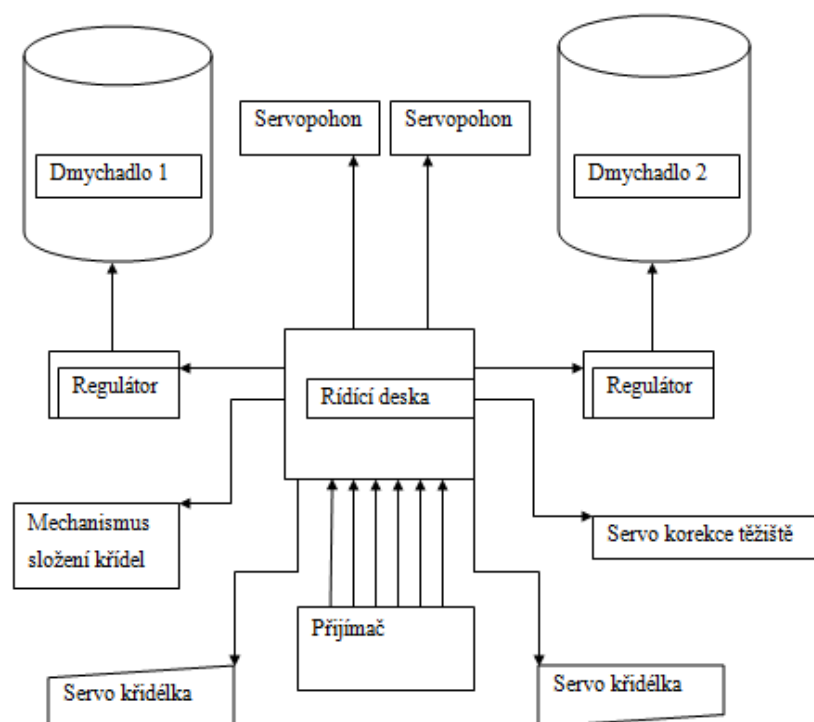
Počet kanálů:	8ch ppm/9ch pcm
Displej:	128*64 LCD
Podporované režimy:	Heli/Akro/Kluzák
Podporuje uložení až 16 typů modelů	
Encoder typ:	ppm/pcm
Subtrim:	Ano
Simulator Interface:	Ano
Bzučák:	Ano
Indikace nízkého napětí:	Ano

3.3.2 Stabilizační deska

Použitá stabilizační deska vznikla ve spolupráci pana Dušana Slavětinského s Ing. Erikem Solařem.

Celý proces stabilizace letu začíná přijímačem, který přijímá povely pozemního pilota vysílané výše zmínkám vysílačem. Přijímač předá zachycené informace řídící desce, ta tyto informace vyhodnotí a vyšle signál s povelům řídicím prvkům. Stabilizační deska používá vestavěný gyroskop pro stabilizaci při těžce pilotovaném režimu startu nebo případnému vrtulníkovému visení.

Pro příklad si představíme visící prototyp ve startovacím režimu, pilot pomocí pákového vysílače dá pokyn kupředu. Ten na palubě prototypu zachytí přijímač a předá pokyn stabilizační desce. Stabilizační deska vyhodnotí povel a za neustálé korekce nakloní obě dmychadla stejným směrem tak, aby se prototyp začal pohybovat dopředu. Při pokynu „otoč se“ vyhodnotí stabilizační deska pokyn a nakloní dmychadla opačným směrem a prototyp se začne otáčet. Hlavním úkolem stabilizační desky není jen vyhodnocovat povely a uvádět prototyp do pohybu, jejím hlavním úkolem jsou zásahy do pilotáže při nečekaných náhlých letových změnách. Pro představu co je myšleno, při vertikálním stoupání dojde poryvem větru k podfouknutí proudu vzduchu z dmychadla a prototyp se začne naklánět, téměř okamžitě stabilizační deska zareaguje a na potřebném dmychadle navýší požadovanou míru výkonu.



Obrázek 29 Grafické znázornění zapojení stabilizační desky na prototypu

Na obrázku č. 28 je graficky znázorněno zapojení stabilizační desky v prototypu UAV konvertoplánu. Z přijímače vede šest vstupů, každý vstup znázorňuje povely z vysílače, kterými se bude konvertoplán řídit.

- Na prvním kanále je informace o podélném náklonu (práce křidélek),
- na druhém kanále je informace týkající se příčného náklonu (výškové kormidla),
- na třetím kanále je informace o nastavení plynu,
- na čtvrtém kanále je informace o směrovém kormidle, případně ovládání kolem svislé osy,
- pátým kanálem se budou přepínat letové režimy,
- šestým kanálem se bude provádět korekce těžiště.

Díky stabilizační desce je možnost použít relativně jednoduchý šesti kanálový vysílač i když deska je schopna přijímat a vyhodnocovat až deset povelů. Na desku lze připojit maximálně deset vstupů a třináct výstupů (reakčních členů). V našem případě využijeme devět výstupů, které jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Kanály	Vstup	výstup
1	křídélka	levé dmychadlo
2	výškové kormidlo	pravé dmychadlo
3	ovládání otáček motoru	servopohon levého dmychadla
4	směrové kormidlo	servopohon pravého dmychadla
5	přepínání letových režimů	levá klapka
6	korekce těžiště	pravá klapka
7	—	mechanismus složení křídel
9	—	servopohon pro korekci těžiště
10	napájení stabilizační desky	—
11	x	—
12	x	—
13	x	připojení terminálu

Tabulka 7 Zapojení stabilizační desky Vstupy – Výstupy

3.4 Použité komponenty ke stavbě a odhad hmotnosti UAV

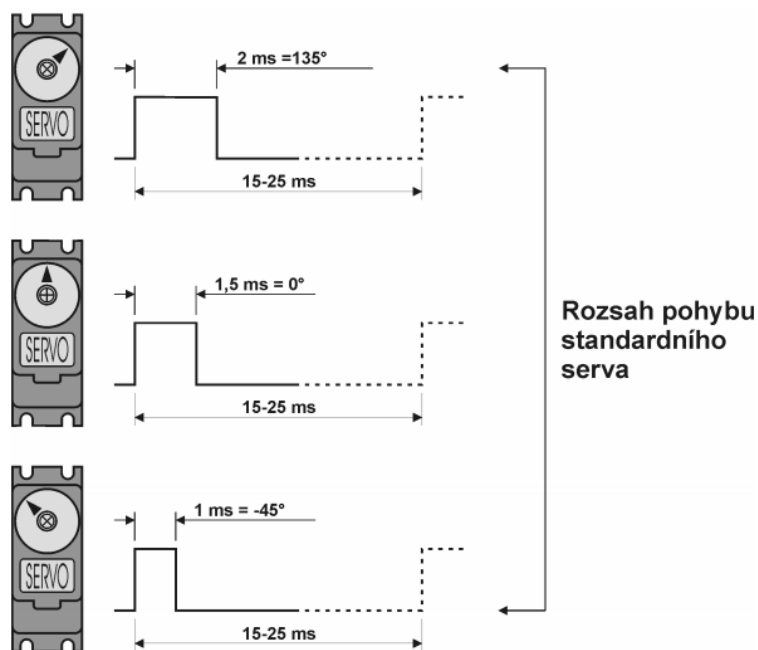
Servomechanismy

Servomechanismy nám poslouží jako akční silové prvky, které budou ovládat několik prvků. Jedním ze základních jejím úkolem bude ovládat klapky na křídlech, a tím řídit horizontální let. Druhým hlavním úkolem je vektorování dmychadel pro řízení vertikálního letu a přenastavení pohonných jednotek pro horizontální let. V myšlence návrhu je možnost sklopení křídel pro snadnější vertikální let, i tady je zapotřebí ovládacího servomechanismu a nakonec bude nutná korekce těžiště při přechodu z vertikálního letu do horizontálního, kde bude potřeba experimentálně přesnou polohu těžiště doladit.

Analogové servomechanismy:

Nejběžnějším způsobem řízení malých modelářských servopohonů, je ovládání pomocí pulzně šířkového signálu (PWM). Tento signál je tzv. dvoustavový, nabývá pouze logických stavů 0 a 1 (0 V / 5 V), ale přenosovou veličinou je doba trvání PWM signálu. Tento signál se velice snadno generuje mikroprocesorem a také se mikroprocesorem snadno zpracovává.

Výhodou tohoto typu signálu je – v porovnání se signálem analogovým – jeho značná odolnost proti rušení. V prostředí s vysokou úrovní rušení je možno místo napětového signálu použít signál proudový, který zaručí eliminaci šumu.



Obrázek 30 Ovládání analogového serva pomocí PWM signálu [15]

Digitální servomechanismy

V modelářském světě jsou to dnes nejpoužívanější akční členy vzhledem k jejich rychlejší odezvě na řídicí signál. Jedná se o nejsložitější způsob ovládání servopohonů. Přenos informací o poloze serva je pomocí digitálního signálu, který může obsahovat informaci o poloze páky serva, rychlosti pohybu páky, točivém momentu a akceleraci, se kterým má servo pracovat. Modelářské digitální servo je většinou jakoby hybridem mezi servem analogovým. Generátorem zpětné vazby je klasický potenciometr, ale signál je zpracováván mikroprocesorem, který přijímá řídicí signály v digitální podobě.

Pro ovládání klapků na křídle jsou použity servopohony GO - 09 s parametry:

Velikost serva	Micro
Typ serva	analogové
Tah při 4.8V [kg/cm]	1.3
Tah při 6.0V [kg/cm]	1.5
Rychlost při 4.8V [s/60st.]	0.12
Rychlost při 6.0V [s/60st.]	0.1
Převody serva	plastové
Napájení [V]	4,8 - 6
Délka [mm]	22.3
Šířka [mm]	11.8
Výška [mm]	26.3
Hmotnost [g]	9
Určeno pro	letadla

Tabulka 8 Parametry servopohonu GO-09

Pro vektorování dmychadel a posuvu Li-pol baterie pro korekci těžiště je zapotřebí použít odolnější servomechanismus s kovovými převody, bylo vybráno GO – 17 MG. Jedná se o servo s parametry:

Velikost serva	Micro
Typ serva	analogové
Tah při 4.8 V [kg/cm]	2.2
Tah při 6.0 V [kg/cm]	2.5
Rychlost při 4.8 V [s/60st.]	0.14
Rychlost při 6.0 V [s/60st.]	0.12
Převody serva	kovové
Napájení [V]	4,8 - 6
Délka [mm]	28.3
Šířka [mm]	13.3
Výška [mm]	29.7
Hmotnost [g]	17
Určeno pro	rc letadla, auta, lodě

Tabulka 9 Parametry servopohonu GO - 17 MG

Další servomechanismus je použit na sklopení konců křídel. Tady je třeba dbát jak na odolnost servopohonu pomocí kovových převodů, tak musí být i výrazně silnější kroucí momenty. Bylo vybráno modelářské servo JX servo PDI-2505MG. Parametry vybraného serva jsou uvedeny v níže umístěné tabulce č. 10.

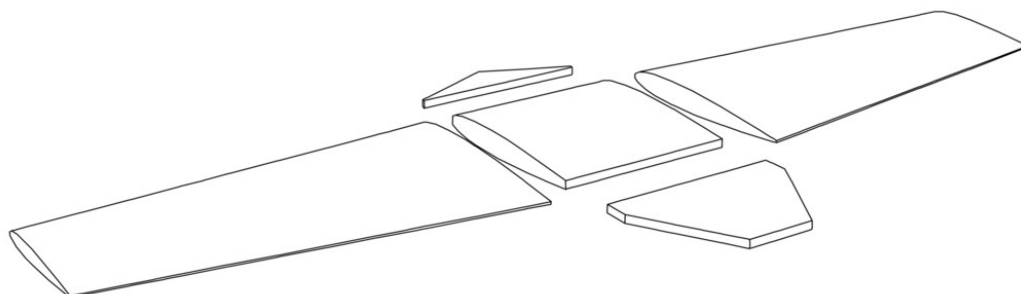
Velikost serva	Mini
Typ serva	digitální
Tah při 4.8V [kg/cm]	5.1
Tah při 6.0V [kg/cm]	6,6
Rychlost při 4.8V [s/60st.]	0.11
Rychlost při 6.0V [s/60st.]	0,09
Převody serva	kovové
Napájení [V]	4.8 - 6
Délka [mm]	36
Šířka [mm]	15
Výška [mm]	32,4
Hmotnost [g]	26
Určeno pro	rc letadla, auta, lodě

Tabulka 10 Parametry servopohonu

Sortiment nabízených servopohonů je obrovský, vyrábí se po celém světě a za velmi přijatelné ceny. Je poměrně snadné vyhledat adekvátní servopohon pro požadovanou manipulaci s konstrukcí draku prototypu s dostatečnými parametry i možností šetření hmotnosti použitých komponentů.

4. Stavba prototypu bezpilotního prostředku

Stavba prototypu začíná vyřezáním jednotlivých dílů samokřídla pomocí CNC odporové pily firmou Brix-model.cz na základě zasláního výkresu. Použitým materiálem pro výrobu křídla je EPP neboli extrudovaný polypropylen.



Obrázek 31 Nárt vyřezaných EPP dílů pro stavbu UAV konvertoplánu

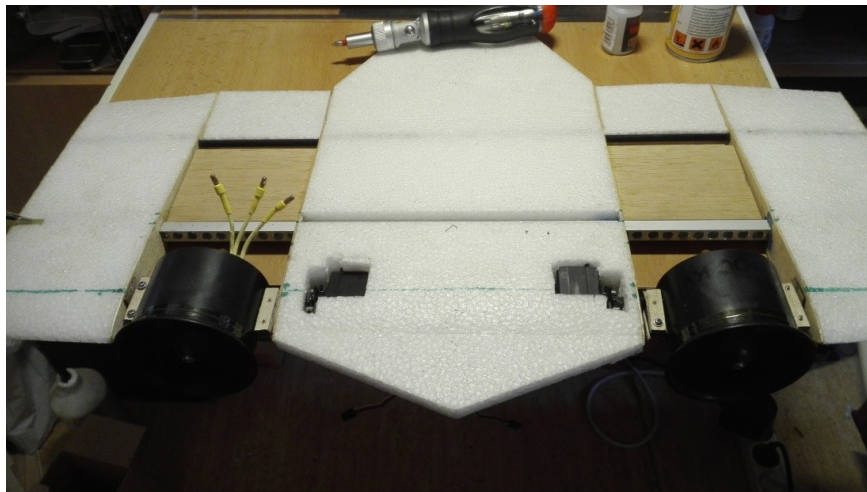
Vyřezané díly byly po zaslání přeměřeny, zkontrolovány jestli do sebe pasují a jestli sedí výkresové míry. Všechny díly byly vyrobeny s naprostou přesností a nebylo zapotřebí půdorysný tvar dílů samokřídla nijak upravovat.

Samotná konstrukce UAV konvertoplánu nemůže tvořit jen materiál EPP. Konstrukce by sice držela pohromadě, ale bez možného vyztužení by nebyla letuschopná. Proto byla otázka, jakými materiály konstrukci vyztužíme. Byly zakoupeny uhlíkové tyčky o průměru 1,5 mm, hliníkový profil o rozměrech profilu 10 x 10 mm, jemná modelářská překližka o síle 1,5 mm pro stranové vyztužení profilu křídla, laminátová deska o síle 1,5 mm pro výrobu kloubu nosníku křídla. Ocelový drát o síle 1,5 mm, bude použit jako táhlo ke sklopení křídel, balzový polotovar odtokové hrany křídla o rozměrech 35 x 8 x 1000 mm. Dále byla použita drobná modelářská bižuterie v podobě pák, pantů nebo vteřinových lepidel.

4.1 Stavba střední části

Střední část se skládá z pěti EPP dílů, z toho střed je složen se tří dílů slepených vteřinovým lepidlem, po stranách jsou přilepeny výztužné profily z modelářské překližky o síle 1,5 mm. Hlavním problémem střední části konvertoplánu je umístění pohonných jednotek, které budou generovat poměrně silný tah a střední část křídla jej bude muset být schopna přenášet. Proto je celou střední částí křídla uložený hliníkový profil 10 x 10 mm, jeho úkolem je přenášet ohybový moment konstrukce křídla díky působení vztlačových sil

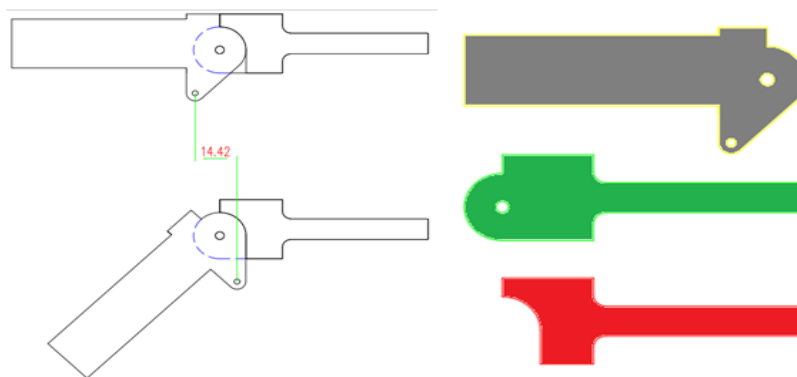
a reakčních momentů od pohonných jednotek. Volba výztuhy křídla pomocí hliníkového profilu nám usnadní napojení křídel přes navrhnutý kloub nosníku, zhotovený kloub se při kompletaci zasune do vnitřního otvoru hliníkového profilu. Příčné vyztužení je realizováno pomocí uhlíkových tyčinek a překližkových profilů.



Obrázek 32 Stavba středového dílu UAV

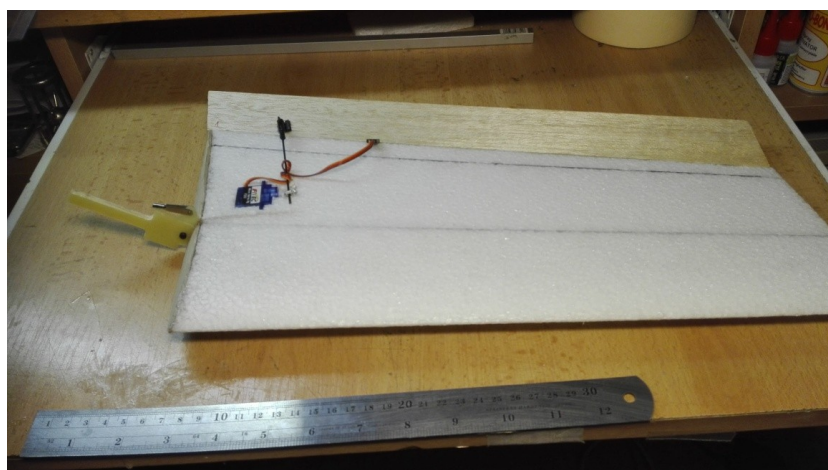
Pohonné jednotky jsou uloženy v ose zjištěného těžiště prototypu, pomocí uhlíkového materiálu bylo zhotoveno naklápěcí uložení a propojení se servopohonem. Byly vyřezány otvory pro manipulační serva a jejich následná montáž do střední části křídla. Servopohony jsou zajištěny pomocí lepidla a překrytí takto uložených servopohonů bude realizováno pomocí tkané lepicí pásy.

V poslední fázi stavby střední části je zapotřebí uložit do nosné konstrukce pant nosníku, díky kterému se budou dát s křídlem manipulovat. Jednotlivý nosníkový pant je složen ze čtyř přesných dílů vyfrézovaných pomocí CNC frézky. Použitým materiálem je sklolaminátová deska o síle 1,5 mm.



Obrázek 33 Nosníkový pant

4.2 Stavba křídla



Obrázek 34 Křídlo připravené na kompletace se středovým dílem UAV

Zhotovení křídla jako celku pro konečnou kompletaci započalo zřezáním kořenové částí křídla pod úhlem 30° tak, aby spodní hrana profilu nebránila sklápění křídla. Takto zřezaný kořen křídla je potřeba vyztužit pomocí balzových prkýnek přilepených k zřezané části a okraje zaříznout podle tvaru profilu křídla.

Z odtokové hrany křídla je odříznutý pás EPP materiálu pro umístění balzového polotovaru, který bude sloužit jako řídicí křídélko. Zároveň volba balzového křídélka pomůže konstrukci koncového křídla vyztužit. Křídélko je ke křídlu připojeno pomocí tří ohebných pantů. Pro podélné vyztužení je použito uhlíkové tyčinky o průměru 1,5 mm vložené do zářezu v křídle a následně zality řídkým vteřinovým lepidlem.

Dále je provedena příprava uložení kloubu nosníku pro následnou kompletaci prototypu. Veškeré lepení je prováděno pomocí vteřinového lepidla. Jako posledním pracovním úkonem je umístění servopohonu zapuštěním do materiálu křídla. Umístění bylo vybráno vzhledem k využití maximální délky napájecí kabeláže.

4.3 Kompletace a úpravy



Obrázek 35 Prototyp UAV před instalací řídicí elektroniky

Kompletace střední části a křídel prototypu je provedena pomocí kloubového uložení vyrobeného nosníkového pantu. Pant je navrhnout a vyroben tak, že při rozevření křídel je vztlak na křídle přenášen do střední hliníkového profilu za pomoci konstrukčního dorazu kloubového spoje. Nosníkový pant má také doraz pro svěšení křídla, tím je sníženo riziko poškození servopohonu. Vráťme se zpět ke způsobu spojení koncového křídla se střední částí prototypu. Jde tedy o spojení provedené kloubově pomocí zmíněného kloubového uložení hlavní nosné části a pak ještě dodatečným hmoždinkovým pantem v oblasti odtokové hrany křídla. Původně bylo zamýšleno použít při vlepení nosníkového pantu do hliníkového profilu dvousložkové epoxidové lepidlo, ale při kompletaci se stalo, že menší množství vteřinového lepidla zateklo do hliníkového profilu a došlo k přilepení vloženého kloubu. Vzhledem ke snaze kloub vytrhnout se došlo k závěru, že dvousložkové lepidlo není zapotřebí. Je třeba dát si pozor při lepení částí do jednoho celku, aby nedošlo k zatečení lepidla i do samotného kloubu nosníku.

Dalším úkolem je uložení servopohonu pro ovládání sklápění křídel. Servopohon bude sloužit jako akční člen při změně letové koncepce, ale také bude jeho manipulační páka sloužit jako součást nosníku. Je to myšleno tak, že při roztažených křídlech bude páka servopohonu v poloze horizontální, souběžně s ocelovými táhly, a tím bude tvořit část nosníkové konstrukce. Horizontální poloha páky spolu s táhly ovládacího mechanismu nebude zatěžovat servopohon na převody a možnost otáčení, ale jen vnější konstrukci servopohonu. Natočením páky servopohonu dojde k podélnému posuvu ocelových táhel, a tím dojde ke svěšení křídel.

Zkompletované samokřídlo je nutno opatřit adekvátním přistávacím zařízením v podobě ližinového podvozku zhotoveného z EPP desky tloušťky 10 mm. Na jednotlivé ližině bude připevněn regulátor otáček. Proto se vyřeže otvor pro jeho uložení a další otvor, kterým budou procházet napájecí kabely elektromotoru. Dále je třeba zajistit stranovou stabilitu prototypu pomocí páru svislých ploch, jejich tvar je převzat z prototypů v bakalářské práci.

Posledním úkonem kompletace je zhotovení přední kabiny prototypu, ve které bude uložena pohonná Li-pol Baterie. Ta bude přichycena na posuvné základně pomocí suchého zipu. Kabina je zhotovena z deskových výřezů EPP o tloušťce 1 cm, ty jsou slepeny vteřinovým lepidlem, do střední části jsou zapuštěny příčné výztuhy z uhlíkové trubky o průměru 5 mm. Skrze ně je přenášeno tíhové zatížení kabiny navýšené ukrytou Li-pol baterií. Překližková základna je tíhově položena na zabudované vzpěry taktéž z uhlíkové trubky o průměru 5 mm. Posuv bateriové základny je prováděn pomocí dalšího servopohonu.

4.4 Zabudování řídicí elektroniky

Pro přesnější stabilizaci a vyhodnocování reakčních momentů stabilizační desky je třeba ji umístit v blízkosti těžiště prototypu. Stabilizační deska by měla být uložena ve vodorovné poloze. Postupně jsou do ní zapojovány jednotlivé akční členy prototypu UAV konvertoplánu.

Přijímač je umístěn mezi svislými ocasními plochami, to z důvodu menšího rizika zachycení rušivého signálu od akčních členů, a taky v přijatelném odhalení antény přijímače. Dále se tímto umístěním snižuje riziko poškození přijímače při letové nehodě. Přijímač zasílá povelové signály do stabilizační desky pomocí pětikilového kabelu a jednoho kabelu pro napájení přijímače ze stabilizační desky.

Elektroinstalace jako taková může také ovlivnit hmotnost, proto se snažíme nadbytečnou délku kabeláže odstranit. Kabeláž vedená přes povrch obtékaných ploch se zapustí do materiálu a to tak, že se provede mírné nařínutí povrchu pod vedeným kabelem a ten se do řezu zatlačí. Jelikož je ovládací a řídicí elektronika umístěna na horní straně prototypu, je potřeba v přibližném středu středové části zhotovit otvor pro prostup kabeláže ke stabilizační desce.

5 Nastavení prototypu bezpilotního prostředku

Nastavování je rozděleno do dvou kapitol. V první kapitole se bude nastavovat stabilizační deska, ve druhé kapitole se bude nastavovat prototyp po sestavení i jeho ovládací prvky.

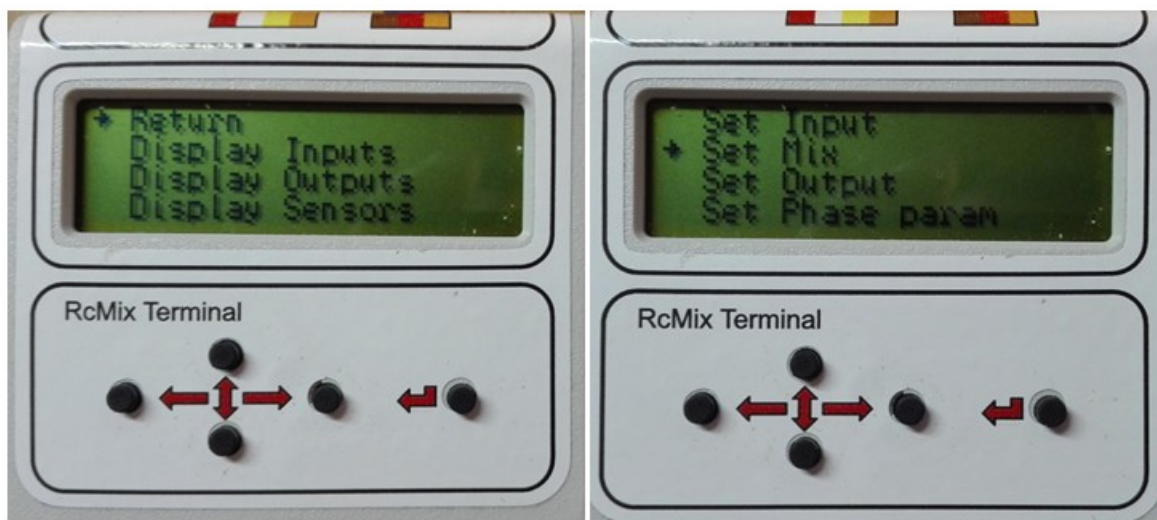
5.1 Nastavení stabilizační desky

Nastavování řídicí desky se bude provádět na jednoduchém přípravku. Jedná se o laserové výpalky do břízové překližky, olemované materiálem EPP použitým i na stavbu prototypu. Pro každou řízenou část prototypu je okénko s ukazatelem znázorňující stav nebo polohu akčního členu. Např. křídélka. Nastavovací přípravek je osazen modelářskými mini servopohony a je napájen čtyřmi tužkovými bateriemi. [2]



Obrázek 36 Přípravek pro nastavení stabilizační desky

Nastavování stabilizační desky se provádí pomocí výrobcem dodaného RcMix Terminálu zapojeného do posledního výstupního kanálu výstupu stabilizační desky. Ta provádí úpravy vstupního signálu na signál výstupní dle požadovaného nastavení ovládání akčních členů prototypu. Deska umožňuje pomocí terminálu nastavit vstupy, výstupy, způsoby úpravy signálu a nastavení fází letu.



Obrázek 37 Nastavovací Terminál RCMix stabilizační desky

Po zapojení napájení se nám na displeji terminálu zobrazí povel pro odemknutí podržením tlačítka Enter. Zobrazí se nám seznam nabídek nastavovacího softwaru:

- Display Inputs – zobrazuje hodnoty přijímané na vstupu z přijímače.
- Display Outputs – zobrazuje výstupní hodnoty na výstupu stabilizační desky.
- Display Sensors – zobrazuje hodnoty získávané z tříosého gyra.
- Set Input – slouží k nastavení vstupní hodnot do stabilizační desky.
- Set Mix – slouží k navolení mixů mezi vstupem výstupem a ziskem z gyra.
- Set Output – slouží k nastavení výstupních hodnot ze stabilizační desky.
- Set Phase param – slouží k nastavení parametrů a přechodu letových fází.

Pro nastavení vstupních hodnot do stabilizační desky je třeba znát počet využitých kanálů vysílače. Pro náš prototyp UAV konvertoplánu se počítá se čtyřmi klasickými ovládacími kanály pro pilotáž v letových osách. První kanál nám slouží pro řízení křidélek (klonění), druhý kanál pro řízení výškových kormidel (klopení), třetí pro ovládání otáček motoru, tedy tahu, a čtvrtý základní kanál slouží pro řízení ve svislé ose tedy k otáčení prototypu. Dále je zapotřebí vstupní hodnoty pátého kanálu, který nám slouží k přepínání letových režimů a šestý kanál, poslední, pro korekci těžiště. Stabilizační deska je omezena počtem vstupů pro deset kanálů.

Na výstupy se nastavují vlastnosti ovládaných akčních členů omezený na třináct použitelných výstupů. V tabulce č. 11 je popsáno, co je zapojeno na vstupu i na výstupu stabilizační desky.

	Vstupy	Výstupy
1	Kanál č.1	M1 - Levý motor
2	Kanál č.2	M2 - Pravý motor
3	Kanál č.3	M3 - Náklon levého motoru
4	Kanál č.4	M4 - Náklon pravého motoru
5	Kanál č.5	M5 - Levé Křídélko
6	Kanál č.6	M6 - Pravé křídélko
7	—	M7 - Korekce těžiště
8	—	M8 - Ovládání sklápění křídel
9	—	—
10	Napájení	—
11	x	—
12	x	—
13	x	RcMix Terminál

Tabulka 11 Zapojení stabilizační desky

V nastavení fázi letu se přiřadí příkaz přechodu letu z vertikálního do horizontálního pomocí přiřazeného přijímačového kanálu, v našem případě vstup č. 5 a je možno navolit rychlost přechodu startovacího módu do letového.

V nastavení Set Mix lze provádět v několika režimech a to ve způsobu úpravy signálu Linear, LinMulti a PID. Deska dovoluje vytvoření až 32 navolených mixů, u prototypu UAV konvertoplánu byl využito 21 mixů.

5.2 Nastavení prototypu UAV konvertoplánu

Sestavený prototyp ještě není schopný letu, protože nedošlo k nastavení spolupráce servopohonu a ovládaných členů. Zapojením servopohonů do řídicí elektroniky nezajistí ani při správném nastavení stabilizační desky letuschopnost prototypu. Je potřeba nastavit stejné výchylky křidélek, mechanismus sklápění křídel, hranice posuvu Li-pol baterie a nastavení vektorování dmychadel.

Nastavení velikosti výchylky křídélka je poměrně jednoduchá záležitost. Ovládací páka připevněná na křídélku obsahuje řadu otvorů pro spojení táhla. Otvory se od křídélka vzdalují, a tím se zmenšuje i úhel nastavení křídélkové plochy. Stejná korekce je možná i na páce servopohonu. Je zapotřebí, aby byla táhla zapojena ve stejně vzdálených otvorech na obou křídlech tím by se měl zaručit stejný rozsah úhlového naklopení křidélek.

Servopohon pro manipulaci sklápění křídel je nutné nastavit na nulovou polohu páky ve vodorovné poloze, aby se zajistilo, že se nebude servo přetahovat s dorazem kloubu a aby byla páka servopohonu součástí nosíkové konstrukce.

Nastavení servopohonu pro posuv baterie je jednoduchý a jeho úkolem je pohybovat baterií v podélném směru v rozmezí 16 mm, kdy ve startovacím režimu bude baterie nastavena v těžišti podle výkresu a tento servopohon bude ve středu svého pracovního rozsahu. Bude tedy s baterií manipulovat 8 mm dopředu a 8 mm dozadu.

6 Vyhodnocení navrhnuté koncepce - letové zkoušky

Tuto kapitolu si rozdělíme do tří kategorií, ve kterých se budeme zabývat hodnocením jednotlivých letových režimů. Pro hodnocení jednotlivých letových režimů využijeme režim pro vertikální start, horizontální let a přechod vertikálního do horizontálního letu. V bakalářské práci se první dvě kategorie úspěšně povedly, nebyl jen vyřešen problém přechodu vertikálního letu do horizontálního. V této práci byla použita úspornější pohonná jednotka, která je schopna generovat obdobný tah při nižším pracovním napětí, jako pohonné jednotky použité v bakalářské práci. Také byla pořízena speciální stabilizační deska, která umožní namixovat dva letové režimy a pomocí přiřazeného kanálu je přepnout.

Konečná váha prototypu se dostala na 1450 g, výpočet plošného zatížení nebude příliš odlišný a dá se očekávat vyšší rychlost horizontálního letu.

6.1 První fáze letových zkoušek

Jako první fáze letových zkoušek bylo nutno ověřit schopnosti navrhnutého prototypu UAV konvertoplánu kolmého startu. Na vysílači se připravil do paměti nový model a patřičně se nachystal i počet kanálů. Po zabudování stabilizační desky do prototypu s odpojenou kabeláží dmychadel a zapnutým vysílačem byla zapojena napájecí Li-pol baterie. Stabilizační deska se pár vteřin neprojevovala a to z důvodu načítání jejího řídicího softwaru. Zjistilo se, že bylo potřeba doladit nastavení stabilizační desky, ta byla nastavována v přípravku, nastavení bylo stále funkčně správné, jen bylo zapotřebí reverzovat hodnoty řídicího signálu pro akční členy jako je ovládání křidélek, výškových kormidel, plynu a taky zisku hodnot z gyra.



Obrázek 38 Úprava nastavení stabilizační desky na prototypu UAV

První testovací vertikální let proběhl na nejmenovaném modelářském letišti za asistence Ing. Erika Solaře, který jakožto spolunavrhovatel použité stabilizační desky pomáhal řešit přesné nastavení stabilizačního programu.

První pokusy končily převrácením prototypu díky slabým nastaveným odezvám na reakci gyra. Experimentálním nastavováním hodnot proporciálních, derivačních a integračních složek se podařilo stabilizaci dostat do fáze, kdy je prototyp stabilizován a po odstartování je schopen letět jako klasická x-coptéra.



Obrázek 39 Letový přednes první fáze letových zkoušek

6.2 Druhá fáze letových zkoušek

Do druhé fáze letových zkoušek byl zahrnut horizontální let a testování nastavení stabilizační desky bez jejího zásahu. Stabilizační deska může zasahovat do řízení klapek a zároveň prototyp stabilizovat při poryvech větru, ale prozatím v této práci toto nastavení nebude. Jen je to možnost budoucích experimentů a upřesnění jejich nastavených hodnot.

Přepnutím třípolohového přepínače pro ovládání přistávacích klapek se prototyp přenastaví do režimu pro horizontální let. Dmychadla jsou sklopena pro generování tahu ve směru letu a deska nezasahuje do pilotáže. Prototyp by se měl tedy chovat jenom jako běžné samokřídlo, kdy je let ovládán pouze klapkami a rychlost letu zajišťuje pár dmychadel. Samotný prototyp váží necelých 1500 g, maximální tah dmychadel generuje až 2200 g. Prototyp má tedy přebytek výkonu a lze usuzovat, že samotný let nebude muset mít pohonné jednotky v plném plynu. Tím se výrazně sníží spotřeba odebíraného proudu a prodlouží se délka letu.



Obrázek 40 Prototyp UAV připraven ke druhé fázi letových zkoušek

Před prvním pokusem o let byla provedena pozemní zkouška nastavení klapek, velikosti výchylek, stejného sepnutí pohonných jednotek, byl zkontrolován servopohon ovládání sklápění křídel a zjištěno, zda-li je jeho manipulační páka ve vodorovné poloze a je tak součástí nosné konstrukce křídla (nosníku). V posledním úkonu pozemních kontrol byla provedena kontrola polohy těžiště. Před prvním letem byly zjištěny malé reakce výchylek klapek v režimu křidélek. To bylo opraveno zásahem do nastavení vysílače na maximální rozsah vysílaného řídicího signálu pro příčné klonění.

První start druhé fáze byl prováděn hodem z ruky proti směru větru a nastavením plynové páky na hodnotu 30 % tahu. Prototyp s takto nastavenou hodnotou tahu nedosáhl dostatečné rychlosti pro let a nouzově přistál do vyššího travnatého porostu, díky kterému nedošlo k poškození prototypu. Při druhém startu bylo použito 50 % výkonu pohonných jednotek a prototyp se rozletěl, nabral rychlost a začal opisovat první okruhy. Bylo zapotřebí vyladit let pomocí trimů na vysílači. Odezva prototypu na řízení při horizontálním letu se zdála být více než obdivuhodná, výhoda velkého výkonu pohonných jednotek zabraňovala náhlému prosednutí prototypu nebo utržení proudnic obtékaných kolem profilu křídla. Při pocitu snížení citlivosti reakcí na povel pilota stačí přidat na tahu pohonných jednotek, prototyp rychle nabere potřebnou rychlost, a tím dojde k zabránění pádu. Letový přednes působí velice klidným dojmem, ovladatelnost je výrazně lepší než u prototypu Fresh I. Menším problémem může být samotné přistání, kdy díky své hmotnosti prototyp letí poměrně vysokou rychlostí

a vysokou energií při dosednutí na travnatou plochu. Při neopatrném přistání může dojít k poškození přistávacího zařízení.



Obrázek 41 Testování letových vlastností

6.3 Třetí fáze letových zkoušek

Tato fáze letových zkoušek přechodu z vertikálního do horizontálního letu bude provedena až po termínu odevzdání diplomové práce, tudíž zde bude vylíčen postup při letových testech. Důvodem nejsou nedostatky navrhnutého UAV prostředku, ale nedostatky zkušeností zalétávacího pilota. Samotný prototyp má všechny předpoklady pro zdárný přechod mezi režimy a potřebným vystoupaním do potřebné výšky. Jedná se o zcela odlišný způsob pilotáže než je zvykem u klasických x-coptérů. Liší se právě zvolenou koncepcí UAV prostředku, a to stabilizací rovnováhy při použití dvou pohonných jednotek určených k režimu visení. Tato koncepce funguje na principu kyvadla, kdy osy uložení dmychadel ke konstrukci prototypu jsou podpěrnými body „kyvadla“ a stabilizační deska se snaží vznikající kmity utlumit. Proto je pilotáž podstatně náročnější k vystoupaní do bezpečné výšky, kde bude zahájen přechod mezi letovými režimy.

Pro samotný přechod je nastaven časový interval dvou sekund, za který se pohonné jednotky nastaví do polohy pro daný režim. Je třeba očekávat, že při přechodu z vertikálního stoupaní do letového režimu dojde k tzv. prosednutí prototypu o těžce odhadnutelnou výšku. Z toho důvodu je zapotřebí se snažit vystoupat s prototypem alespoň do desetimetrové výšky. Prototyp má k dispozici mnohem více výkonu než je potřeba pro let, tím se prosednutí podstatně zmenší přidáním plného výkonu v bodě přestavování.

6.4 Vyhodnocení

Bylo zjištěno, že prototyp je schopen se pohybovat ve visu jako vrtulník při hodnotě 70 % tahu pohonných jednotek. To odpovídá tahu 800 g z jednoho dmyhadla při odběru proudu 27 A, celkově tedy pohonné jednotky odebírají 54 A. To odpovídá předpokládané době letu čtyř minut při visení, pro samotný horizontální let je dostatečný výkon nastavený na hodnotu 50%. Při této hodnotě pohonné jednotky odebírají 36 A a doba letu se bude pohybovat kolem šesti minut. Při představě že, k vystoupaní do požadované výšky budeme potřebovat 20 vteřin tahu o hodnotě 85%, spotřebujeme 300 mAh. Pro vertikální let při hodnotě tahu na 50% máme k dispozici 3400 mAh kapacity napájecí Li-pol baterie. Pro horizontální let nám zbytek kapacity vystačí na 5,6 minuty, vzhledem k dosažené rychlosti prototypu Fresh I 90 km/h se dá odhadnout, že i po kolmém startu prototyp UAV konvertoplánu zvládne uletět ještě osmikilometrovou vzdálenost.

V první fázi letových zkoušek se prototyp jevil lépe ovladatelný než prototyp Fresh II, dmyhadla umístěna ve větší vzdálenosti od středu prostředku se kladně projevila při stabilizaci kolem příčné osy. Sklopená křídla napomáhají snížit těžiště prototypu, a tím stabilizační desce odlehčí od tlumení výkyvů. Nastavená stabilizační deska umožňuje s prototypem poměrně snadně poletovat v blízkosti země. Při pokusu stoupat do vyšší vzdálenosti od země, je náročné korigovat a včas eliminovat „rozkmitání“ prototypu. Hlavní příčinou vzniku rozkmitání stability visu, jsou vzduchové proudy generované dmyhadly. Pod prototypem se vytváří něco jako vzduchové polštáře, které znesnadňují manévrování v malé výšce nad zemí. Při manévrování nad pevným povrchem, je pilotáž obtížnější, proto se část letových testů vzhledem ke tvorbě vzduchových polštářů pod prototypem zaměřila na manévrování nad vysokým travnatým porostem. Ukázalo se, že tvorbu vzduchových polštářů travnatý porost eliminoval a při letu prototypu nedocházelo k tak intenzivním kmitům.

Od prototypu Fresh I, který byl sestrojen za účelem zjištění přesné polohy těžiště a zjištění funkčnosti této koncepce samokřídla se liší navrhovaný prototyp v použitých klapkách, které jsou o půl centimetru větší šířky účinnější, výchylky byly nastaveny do většího rozsahu. Bylo rozšířeno i rozpětí křídla vzhledem k větší letové hmotnosti. Ta je větší díky použité baterii, přidání další pohonné jednotky a jednotlivých manipulačních servopohonů. Hmotnost se zastavila na hodnotě 1450 g. Samotný letový projev je velice uspokojivý, ovladatelnost prototypu je na vysoké úrovni, při pilotážích v nesnázích, stačí přidat více plynu a prototyp zrychlí na potřebnou rychlost.

Stabilizační deska je správně nastavena a pracuje v každé fázi letu velmi dobře. Pro zdárný přechod letových režimů je nutnost vystoupat do požadované výšky. Takové stoupání vyžaduje mnohem více letových zkušeností, než se dá zvládnout nasbírat do termínu odevzdání diplomové práce, letové zkoušky budou prováděny i po termínu odevzdání a bude se pracovat na doladění navrhnutého UAV konvertoplánu. Prototyp byl vzhledem k navazování na bakalářskou práci a pokračování v projektu pod názvem Fresh pojmenován jako X – Fresh.

7 Kalkulace použitých komponentů

Je třeba brát v úvahu, že se jedná pouze o prototyp. Jsou vybrány jen ty nejlevnější dostupné komponenty, za účelem vynaložit co nejmenší počet finančních prostředků. Je třeba si uvědomit možnost, kdy by se jednalo o zakázku sestavit UAV konvertoplán, nebo-li VTOL pro specifického zákazníka, který by měl dostatek finančních prostředků. Pak by se dalo dosáhnout mnohem kvalitnějšího zpracování samotného UAV konvertoplánu u jeho celkové doby letu.

Komponenty	cena
Dmychadlo + regulátor (2x1200)	2400
Stabilizační deska	3500
Vysílač Turnigy 9X 9Ch	3990
výřezy EPP	1000
servo zatahovací mechanismus	740
servo křídélka (2x110)	220
servo vektorování dmychadel (2x250)	500
baterie Li-pol 4s	1500
přípravek	250
laminát	150
uhlík	650
překližka	120
lepidla	150
modelářská bižuterie	535
Celková částka	15705

Tabulka 12 Kalkulace použitých komponentů

8 Závěr

V současné době jsou využívány různé koncepce konstrukčního řešení UAV prostředků. Základní koncepce vrtulníkových a letounových UAV prostředků jsou převzaty z větších předloh přepravující lidi nebo náklad za různými účely. Koncepce dronů se neustále vyvíjí a jejich možnosti využití jsou mnohem větší i vzhledem k možnosti přepravy, uskladnění nebo jednoduchosti pilotáže. Náklady na provoz jsou podstatně menší a mohou na palubě nést kamerový systém nebo různé měřicí a vyhodnocovací stanice. Jejich doba letu je ovšem omezena kapacitou baterií. První dvě zmíněné koncepce jsou využívány převážně v armádě. X-coptérové koncepce nacházejí uplatnění jak v oblasti nasazení v armádě, tak u policie, záchranných složek a pro jiné další komerční účely.

Cílem práce bylo prověřit možnost využití modelářských dmychadel jak k pohonu prototypu UAV konvertoplánu, tak i v možnosti využít je ke kolmému startu, dále navrhnout úpravy platformy Fresh I a Fresh II, jenž byly řešeny v bakalářské práci „*Návrh UAV s kolmým startem typu křídlo*“ [1] a dosáhnout tak spojení letových charakteristik obou platform v jeden funkční prototyp. Bylo navrženo několik změn při realizaci a vylepšení letových vlastností, a to novými materiály ve vyztužení konstrukce, kdy byly použity uhlíkové materiály a navrženo kloubové uložení mechanismu sklápění křídla. Tato funkce má za úkol snížit odpor při vertikálním stoupání, pomoci stabilizovat ve vertikálním stoupání a taky snížit polohu těžiště pro snadnější stabilizaci a eliminování výkyvů při vertikálním manévrování. Do prototypu byla napájecí baterie uložena na posuvnou základnu, její posuv byl řízen dalším servopohonem a posuvem je umožněno zasahovat do nastavení polohy těžiště. Tím je umožněno provádět do letícího prototypu experimentálními zásahy a optimálně nastavit pro obě fáze letu.

První fáze letových testů prokázala, že navrhnutý prototyp v koncepci samokřídla a poháněného párem dmychadel, je schopen kolmého startu. Dmychadla generují tah, který je podstatně vyšší než samotná hmotnost prototypu, a tím je zaručena možnost vertikálního vzletu. Stabilizační deska byla ve velkém počtu experimentálních letů nastavena a vyladěna, takže prototyp je schopen vertikálního startu, manévrování při visení a letu jako vrtulník.

Druhá fáze letových zkoušek prokázala schopnost prototypu pohybovat se jako letoun. Star při druhé fázi letových zkoušek byl proveden jednoduchým hodem z ruky za nastaveného pohonu na 60 % celkového výkonu. Při prvním letovém okruhu byla

provedena korekce vyvážení a bylo zahájeno testování letových vlastností. Vzhledem k plošnému zatížení se prototyp pohybuje rychlostí přesahující sto kilometrů za hodinu. Autor práce nedoporučuje testovat letový režim při maximálním výkonu pohonných jednotek. Vzhledem k možnosti sklápění křidel by totiž konstrukce nemusela vydržet nárůst zatížení. Proto testy probíhaly s maximálním použitým výkonem 80 % tahu pohonných jednotek pro bezpečné stoupání.

Kvůli náročnosti na pilotáž vertikálního stoupání do výšky potřebné pro přechod letu z vertikálního do horizontálního, nebude v této práci třetí fáze letových testů uváděna, je jen popsán její průběh. Je třeba zmínit, že prototyp X-Fresh má všechny předpoklady k tomu, aby třetí fáze letových zkoušek proběhla úspěšně.

Využití této koncepce může mít uplatnění v armádních složkách jako UAV prostředek určený k rychlému průzkumu potřebné oblasti díky malým rozměrům, možnosti skladnosti, startu z malého prostoru a poměrně vysoké letové rychlosti. Je možné jej využít také k záchranným účelům při pátrání nebo zjišťování velikosti přírodních katastrof. Vzhledem k vývoji komponentů a hlavně uložení elektrické energie se dá očekávat, že doba letu tohoto prostředku se výrazně prodlouží, pohonné jednotky budou úspornější a účinnější. To umožní větší hmotnostní rezervu a možnosti upevnit na palubu tohoto prostředku různá měřicí a vyhodnocovací zařízení.

Literatura

- [1] STUDENKA, Pavel. *Návrh UAV "s kolmým startem typu křídlo"*. Ostrava, 2013. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava.
- [2] SVOBODA, Martin. *Koncepční návrh a konstrukční řešení UAV s využitím nosné plochy kruhového půdorysu*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava.
- [3] SLAVĚTÍNSKÝ, D. *Stavba letadel*. [Online]. 9. 5. 2016, Dostupný z <http://www.slavetind.cz/Default.aspx>
- [4] *Uplatnění bezpilotních prostředků* [Online]. 9. 5. 2016, Dostupný z <http://www.uav.estranky.cz/clanky/autor--s-texts---autorovy-prispevky/zamysleni-nad-uplatnenim-uav-v-bezpecnostni-praxi.html>
- [5] *Bezpilotní prostředky*, [Online]. 10. 5. 2016, Dostupný z http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle
- [6] *Optoelektron a Sokol*, [Online]. 10. 5. 2016, Dostupný z http://technet.idnes.cz/vojensky-technicky-ustav-vyvinul-bezpilotni-letouny-optoelektron-a-sokol-luk-/vojenstvi.aspx?c=A120529_162619_vojenstvi_kuz
- [7] Geometrie křídla, [Online]. 10. 5. 2016, Dostupný z <http://www.slavetind.cz/stavba/konstrukce/kridlo/Kridlo-obecnageometrie.aspx>
- [8] Bezocasá křídla, [Online]. 10. 5. 2016, Dostupný z <http://samokridla.webnode.cz/>
- [9] Napájení, [Online]. 1. 5. 2016, Dostupný z http://www.kolmanl.info/index.php?show=rcrec_napajeni
- [10] Samokřídla [Online]. 10. 5. 2016, Dostupný z http://www.airspace.cz/akademie_letectvi/2011/12/samokridla/
- [11] *Pelikán*. D.[Online]. 11. 5. 2016, Dostupný z <http://www.pelikanoutlet.com/>
- [12] *Efficiently* [Online]. 10. 5. 2016, Dostupný z <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=1374570>
- [13] *MH 62* [Online]. 8. 5. 2016, Dostupný z <http://www.mh-aerotools.de/airfoils/mh62koo.htm>
- [14] DURLEY, V. *Letecká historie*. [Online]. 5. 3. 2016, Dostupný z <http://www.aeroweb.cz/clanky/1797->
- [15] JRT.*Servomechanismy*. [Online]. 10. 5. 2016, Dostupný z <http://robodoupe.cz/2011/servomechanismy/>

Seznam obrázků

Obrázek 1	13
Obrázek 2 Vlečený terč KT-04 (kluzák)	14
Obrázek 3 miniaturní UAV WASP III (samokřídlo)	14
Obrázek 4 průzkumný UAV RQ-11 Raven (klasická koncepce)	14
Obrázek 5 UAS Global Hawk - největší bezpilotní prostředek	14
Obrázek 6 příklady používaných uspořádání multicopterů	15
Obrázek 7 Úspěšné přistání nosné rakety Falcon 9 na plovoucí plošině	16
Obrázek 8 Bell Boeing V-22 Osprey	16
Obrázek 9 První přistání prototypu Fresh I	18
Obrázek 10 Nehoda při letu po větru.	18
Obrázek 11 Prototyp Fresh II v letu	19
Obrázek 12 Prototyp Fresh II s vysílačem Optic 6	19
Obrázek 13 porovnání změny v koncepci z bakalářské práce a diplomové práce	20
Obrázek 14 Závěsy pro vektorování dmychadla	22
Obrázek 15 Rozdíl použitých profilů	23
Obrázek 16 Použitý profil křídla MH 62	23
Obrázek 17 Vypočtené poláry profilu MH 62 [13]	24
Obrázek 18 Rozložení vztlaku na křídle	25
Obrázek 19 Střední Aerodynamická Tětiva křídla	28
Obrázek 20 Přípravek pro měření tahu dmychadla	29
Obrázek 21 Schéma zapojení komponentů při měření	29
Obrázek 22 Parametry dmychadla EDF 80 [1]	31
Obrázek 23 Střídavý elektromotor s rotačním pláštěm L2855 - 2100 EDF [1]	32
Obrázek 24 graf měření dmychadla EDF 80	33
Obrázek 25 graf měření dmychadla EDF 70	33
Obrázek 26 Měření adekvátního vrtulového pohonu	35
Obrázek 27 Graf měření vrtulového pohonu	36
Obrázek 28 Vysílač Turnigy 9X	37
Obrázek 29 Grafické znázornění zapojení stabilizační desky na prototypu	39
Obrázek 30 Ovládání analogového serva pomocí PWM signálu [15]	41
Obrázek 31 Nárt vyřezaných EPP dílů pro stavbu UAV konvertoplánu	43
Obrázek 32 Stavba středového dílu UAV	44
Obrázek 33 Nosníkový pant	44

Obrázek 34 Křídlo připravené na kompletaci se středovým dílem UAV	45
Obrázek 35 Prototyp UAV před instalací řídicí elektroniky	46
Obrázek 36 Přípravek pro nastavení stabilizační desky	48
Obrázek 37 Nastavovací Terminál RCMix stabilizační desky	49
Obrázek 38 Úprava nastavení stabilizační desky na prototypu UAV	52
Obrázek 39 Letový přednes první fáze letových zkoušek	53
Obrázek 40 Prototyp UAV připraven ke druhé fázi letových zkoušek	54
Obrázek 41 Testování letových vlastností	55

Seznam tabulek

Tabulka 1 Hrubá hmotnost prototypu UAV konvertoplánu	26
Tabulka 2 Kategorie létání vzhledem k plošného zatížení	27
Tabulka 3 naměřené hodnoty dmyhadla EDF 80	32
Tabulka 4 Naměřené hodnoty dmyhadla EDF 70	34
Tabulka 5 Měření vrtulového pohonu	35
Tabulka 6 Ukázkové srovnání měřených pohonů	37
Tabulka 7 Zapojení stabilizační desky Vstupy – Výstupy	40
Tabulka 8 Parametry servopohonu GO-09	41
Tabulka 9 Parametry servopohonu GO - 17 MG	42
Tabulka 10 Parametry servopohonu	42
Tabulka 11 Zapojení stabilizační desky	50
Tabulka 12 Kalkulace použitých komponentů	57

Seznam příloh

Příloha A – Náskres koncepčního řešení návrhu UAV konvertoplánu

Příloha B – Přípravek pro nastavení stabilizační desky

Příloha C – Měření dmychadla

Příloha D – Měření vrtulového pohonu

Příloha E – Náskres nastavovacího přípravku stabilizační desky

Příloha F – Zhotovený prototyp UAV konvertoplánu

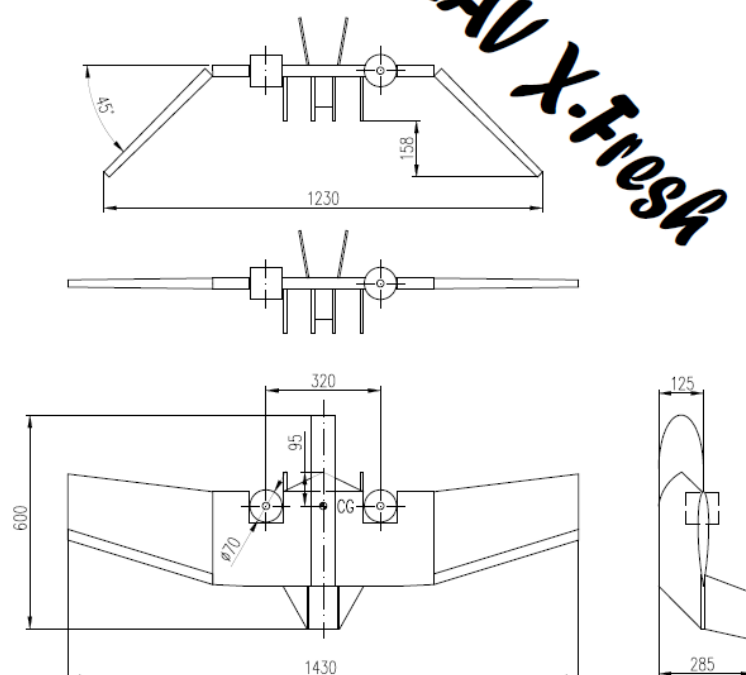
Příloha G – První fáze letu (visení)

Příloha H – Druhá fáze – let

Příloha I – Start hodem z ruky

Příloha A – Náskres koncepčního řešení návrhu UAV konvertoplánu

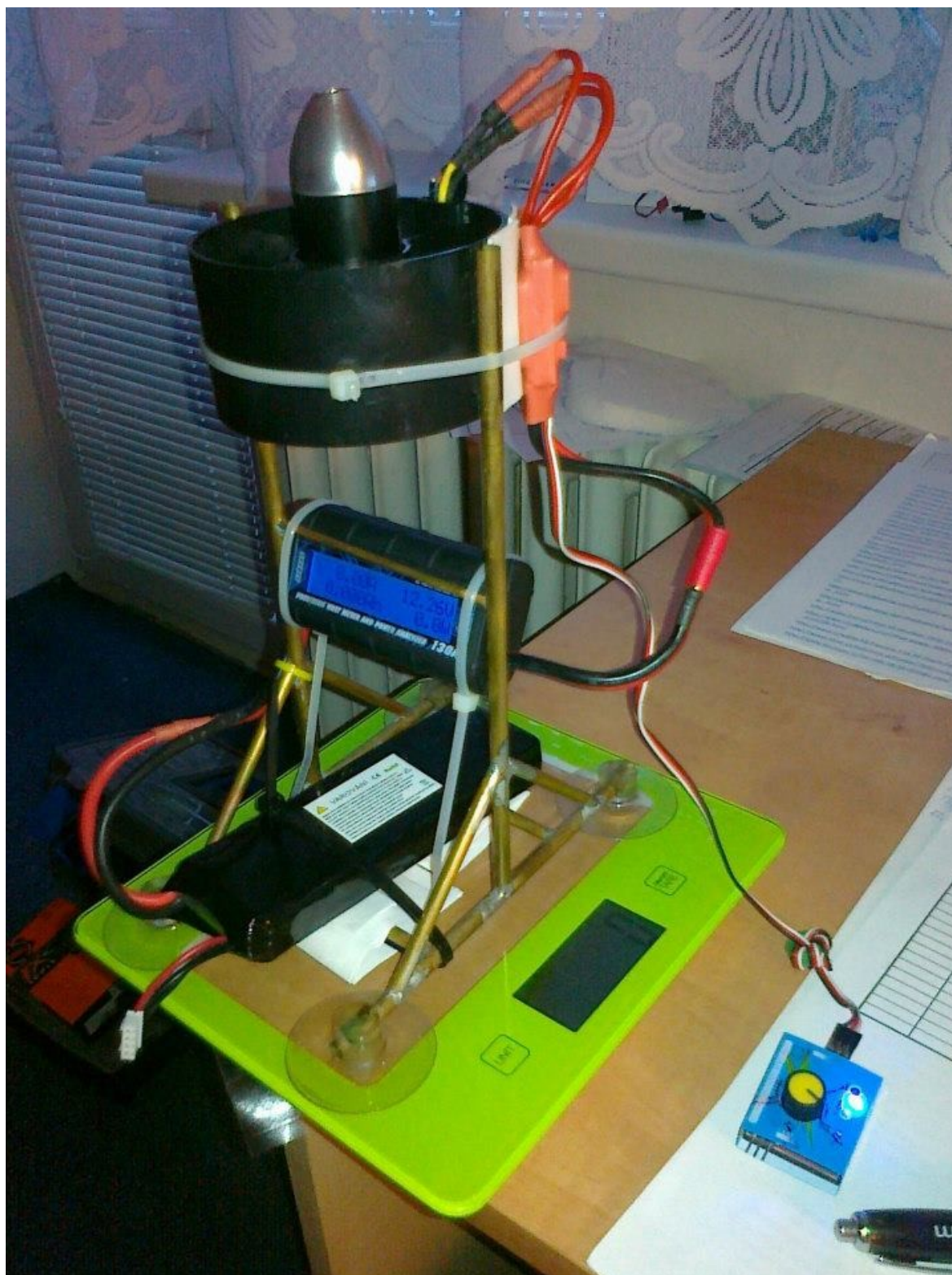
3-pohledový výkres



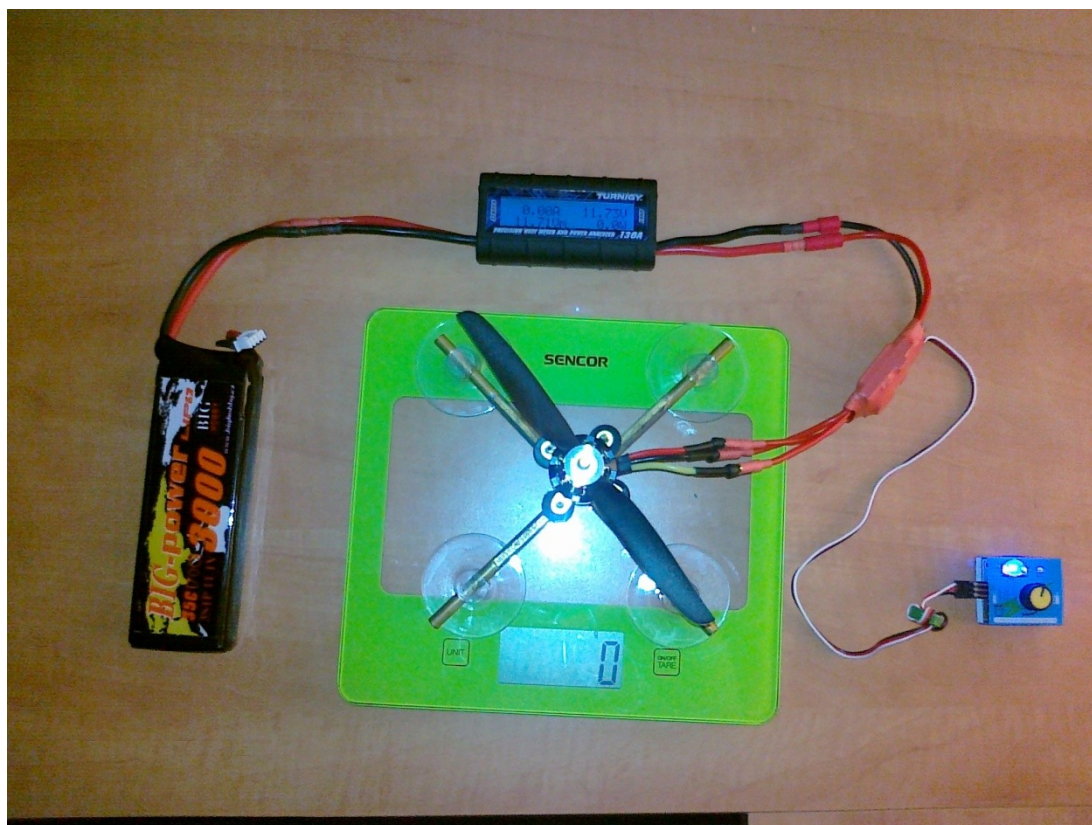
Příloha B – Přípravek pro nastavení stabilizační desky



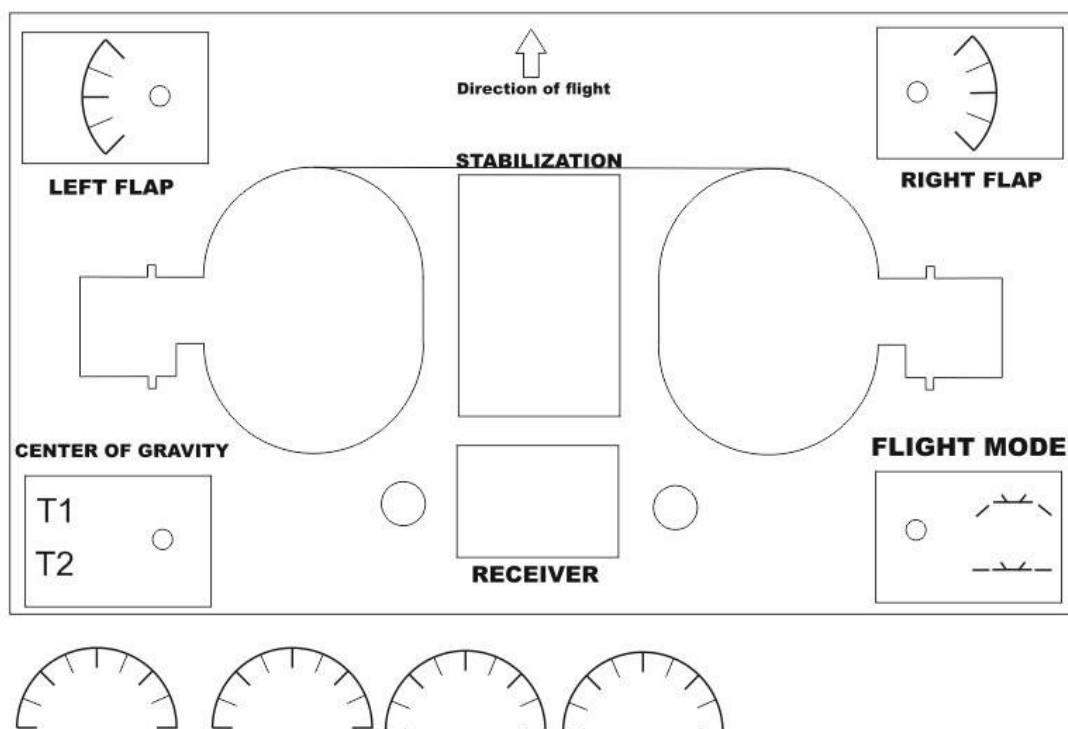
Příloha C – Měření dmychadla



Příloha D – Měření vrtulového pohonu



Příloha E – Náčrves nastavovacího přípravku stabilizační desky



Příloha F – Zhotovený prototyp UAV konvertoplánu



Příloha G – První fáze letu (visení)



Příloha H – Druhá fáze – let



Příloha I – Start hodem z ruky

